NI Circuit Design Suite

Getting Started with NI Circuit Design Suite

June 2007
374482B-01

NATIONAL INSTRUMENTS™
ELECTRONICS WORKBENCH GROUP

Worldwide Technical Support and Product Information

ni.com

National Instruments Corporate Headquarters

11500 North Mopac Expressway Austin, Texas 78759-3504 USA Tel: 512 683 0100

Worldwide Offices

Australia 1800 300 800, Austria 43 662 457990-0, Belgium 32 (0) 2 757 0020, Brazil 55 11 3262 3599, Canada 800 433 3488, China 86 21 5050 9800, Czech Republic 420 224 235 774, Denmark 45 45 76 26 00, Finland 385 (0) 9 725 72511, France 01 57 66 24 24, Germany 49 89 7413130, India 91 80 41190000, Israel 972 3 6393737, Italy 39 02 413091, Japan 81 3 5472 2970, Korea 82 02 3451 3400, Lebanon 961 (0) 1 33 28 28, Malaysia 1800 887710, Mexico 01 800 010 0793, Netherlands 31 (0) 348 433 466, New Zealand 0800 553 322, Norway 47 (0) 66 90 76 60, Poland 48 22 3390150, Portugal 351 210 311 210, Russia 7 495 783 6851, Singapore 1800 226 5886, Slovenia 386 3 425 42 00, South Africa 27 0 11 805 8197, Spain 34 91 640 0085, Sweden 46 (0) 8 587 895 00, Switzerland 41 56 2005151, Taiwan 886 02 2377 2222, Thailand 662 278 6777, Turkey 90 212 279 3031, United Kingdom 44 (0) 1635 523545

For further support information, refer to the *Technical Support and Professional Services* appendix. To comment on National Instruments documentation, refer to the National Instruments Web site at ni.com/info and enter the info code feedback.

© 2006–2007 National Instruments Corporation. All rights reserved.

Important Information

Warranty

The media on which you receive National Instruments software are warranted not to fail to execute programming instructions, due to defects in materials and workmanship, for a period of 90 days from date of shipment, as evidenced by receipts or other documentation. National Instruments will, at its option, repair or replace software media that do not execute programming instructions if National Instruments receives notice of such defects during the warranty period. National Instruments does not warrant that the operation of the software shall be uninterrupted or error free.

A Return Material Authorization (RMA) number must be obtained from the factory and clearly marked on the outside of the package before any equipment will be accepted for warranty work. National Instruments will pay the shipping costs of returning to the owner parts which are covered by warranty.

National Instruments believes that the information in this document is accurate. The document has been carefully reviewed for technical accuracy. In the event that technical or typographical errors exist, National Instruments reserves the right to make changes to subsequent editions of this document without prior notice to holders of this edition. The reader should consult National Instruments if errors are suspected. In no event shall National Instruments be liable for any damages arising out of or related to this document or the information contained in it.

EXCEPT AS SPECIFIED HEREIN, NATIONAL INSTRUMENTS MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, AND SPECIFICALLY DISCLAIMS ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. CUSTOMER'S RIGHT TO RECOVER DAMAGES CAUSED BY FAULT OR NEGLIGENCE ON THE PART OF NATIONAL INSTRUMENTS SHALL BE LIMITED TO THE AMOUNT THERETOFORE PAID BY THE CUSTOMER. NATIONAL INSTRUMENTS WILL NOT BE LIABLE FOR DAMAGES RESULTING FROM LOSS OF DATA, PROFITS, USE OF PRODUCTS, OR INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY THEREOF. This limitation of the liability of National Instruments will apply regardless of the form of action, whether in contract or tort, including negligence. Any action against National Instruments must be brought within one year after the cause of action accrues. National Instruments shall not be liable for any delay in performance due to causes beyond its reasonable control. The warranty provided herein does not cover damages, defects, malfunctions, or service failures caused by owner's failure to follow the National Instruments installation, operation, or maintenance instructions; owner's modification of the product; owner's abuse, misuse, or negligent acts; and power failure or surges, fire, flood, accident, actions of third parties, or other events outside reasonable control.

Copyright

Under the copyright laws, this publication may not be reproduced or transmitted in any form, electronic or mechanical, including photocopying, recording, storing in an information retrieval system, or translating, in whole or in part, without the prior written consent of National Instruments Corporation.

National Instruments respects the intellectual property of others, and we ask our users to do the same. NI software is protected by copyright and other intellectual property laws. Where NI software may be used to reproduce software or other materials belonging to others, you may use NI software only to reproduce materials that you may reproduce in accordance with the terms of any applicable license or other legal restriction.

BSIM3 and BSIM4 are developed by the Device Research Group of the Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley and copyrighted by the University of California.

The ASM51 cross assembler bundled with Multisim MCU is a copyrighted product of MetaLink Corp. (`www.metaice.com`).

MPASM™ macro assembler and related documentation and literature is reproduced and distributed by Electronics Workbench under license from Microchip Technology Inc. All rights reserved by Microchip Technology Inc. MICROCHIP SOFTWARE OR FIRMWARE AND LITERATURE IS PROVIDED "AS IS," WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL MICROCHIP BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR FIRMWARE OR THE USE OF OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE OR FIRMWARE.

Trademarks

National Instruments, NI, ni.com, and LabVIEW are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Terms of Use* section on `ni.com/legal` for more information about National Instruments trademarks.

Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies.

Members of the National Instruments Alliance Partner Program are business entities independent from National Instruments and have no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

Patents

For patents covering National Instruments products, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your CD, or `ni.com/patents`.

WARNING REGARDING USE OF NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS

(1) NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS ARE NOT DESIGNED WITH COMPONENTS AND TESTING FOR A LEVEL OF RELIABILITY SUITABLE FOR USE IN OR IN CONNECTION WITH SURGICAL IMPLANTS OR AS CRITICAL COMPONENTS IN ANY LIFE SUPPORT SYSTEMS WHOSE FAILURE TO PERFORM CAN REASONABLY BE EXPECTED TO CAUSE SIGNIFICANT INJURY TO A HUMAN.

(2) IN ANY APPLICATION, INCLUDING THE ABOVE, RELIABILITY OF OPERATION OF THE SOFTWARE PRODUCTS CAN BE IMPAIRED BY ADVERSE FACTORS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO FLUCTUATIONS IN ELECTRICAL POWER SUPPLY, COMPUTER HARDWARE MALFUNCTIONS, COMPUTER OPERATING SYSTEM SOFTWARE FITNESS, FITNESS OF COMPILERS AND DEVELOPMENT SOFTWARE USED TO DEVELOP AN APPLICATION, INSTALLATION ERRORS, SOFTWARE AND HARDWARE COMPATIBILITY PROBLEMS, MALFUNCTIONS OR FAILURES OF ELECTRONIC MONITORING OR CONTROL DEVICES, TRANSIENT FAILURES OF ELECTRONIC SYSTEMS (HARDWARE AND/OR SOFTWARE), UNANTICIPATED USES OR MISUSES, OR ERRORS ON THE PART OF THE USER OR APPLICATIONS DESIGNER (ADVERSE FACTORS SUCH AS THESE ARE HEREAFTER COLLECTIVELY TERMED "SYSTEM FAILURES"). ANY APPLICATION WHERE A SYSTEM FAILURE WOULD CREATE A RISK OF HARM TO PROPERTY OR PERSONS (INCLUDING THE RISK OF BODILY INJURY AND DEATH) SHOULD NOT BE RELIANT SOLELY UPON ONE FORM OF ELECTRONIC SYSTEM DUE TO THE RISK OF SYSTEM FAILURE. TO AVOID DAMAGE, INJURY, OR DEATH,

THE USER OR APPLICATION DESIGNER MUST TAKE REASONABLY PRUDENT STEPS TO PROTECT AGAINST SYSTEM FAILURES, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO BACK-UP OR SHUT DOWN MECHANISMS. BECAUSE EACH END-USER SYSTEM IS CUSTOMIZED AND DIFFERS FROM NATIONAL INSTRUMENTS' TESTING PLATFORMS AND BECAUSE A USER OR APPLICATION DESIGNER MAY USE NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS IN COMBINATION WITH OTHER PRODUCTS IN A MANNER NOT EVALUATED OR CONTEMPLATED BY NATIONAL INSTRUMENTS, THE USER OR APPLICATION DESIGNER IS ULTIMATELY RESPONSIBLE FOR VERIFYING AND VALIDATING THE SUITABILITY OF NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS WHENEVER NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS ARE INCORPORATED IN A SYSTEM OR APPLICATION, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, THE APPROPRIATE DESIGN, PROCESS AND SAFETY LEVEL OF SUCH SYSTEM OR APPLICATION.

Conventions

The following conventions are used in this manual:

»	The » symbol leads you through nested menu items and dialog box options to a final action. The sequence **File»Page Setup»Options** directs you to pull down the **File** menu, select the **Page Setup** item, and select **Options** from the last dialog box.
	This icon denotes a tip, which alerts you to advisory information.
	This icon denotes a note, which alerts you to important information.
bold	Bold text denotes items that you must select or click in the software, such as menu items and dialog box options. Bold text also denotes parameter names.
italic	Italic text denotes variables, emphasis, a cross-reference, or an introduction to a key concept. Italic text also denotes text that is a placeholder for a word or value that you must supply.
`monospace`	Text in this font denotes text or characters that you should enter from the keyboard, sections of code, programming examples, and syntax examples. This font is also used for the proper names of disk drives, paths, directories, programs, subprograms, subroutines, device names, functions, operations, variables, filenames, and extensions.

Contents

Chapter 1
Introduction to NI Circuit Design Suite

NI Circuit Design Suite Product Line 1-1
The Tutorials 1-2

Chapter 2
Multisim Tutorial

Overview 2-1
Schematic Capture 2-2
- Opening and Saving the File 2-3
- Placing the Components 2-3
- Wiring the Circuit 2-7

Simulation 2-9
- Virtual Instrumentation 2-9
- Analysis 2-11
- The Grapher 2-12
- The Postprocessor 2-12

Reports 2-13
- Bill of Materials 2-13

Chapter 3
Ultiboard Tutorial

Opening the Tutorial 3-2
Creating a Board Outline 3-3
Placing Components 3-5
- Dragging Components from Outside the Board Outline 3-6
- Dragging Components from the Parts Tab 3-7
- Placing the Tutorial Components 3-7
- Placing Parts from the Database 3-8
- Moving Components 3-10

Placing Traces 3-11
- Placing a Manual Trace 3-12
- Placing a Follow-me Trace 3-14
- Placing a Connection Machine Trace 3-15

Auto Part Placement 3-16
Autorouting Traces 3-17
Other Features 3-18

Preparing for Manufacturing/Assembly 3-19
Cleaning up the Board 3-19
Adding Comments 3-19
Exporting a File 3-20
Viewing Designs in 3D 3-20

Chapter 4
Multisim MCU Module Tutorial

Overview 4-1
About the Tutorial 4-2
Understanding the Assembly Program 4-4
Advanced Features 4-7
Debug View Overview 4-7
Adding a Breakpoint 4-9
Break and Step 4-11
Break and Step Out 4-12
Break and Step Into 4-12
Break and Step Over 4-12
Run to Cursor 4-12

Appendix A
Technical Support and Professional Services

Index

1

Introduction to NI Circuit Design Suite

Some of the features described in this book may not be available in your edition of NI Circuit Design Suite. Refer to the release notes for a list of the features in your edition.

The following are described in this chapter.

Subject	Page No.
NI Circuit Design Suite Product Line	1-1
The Tutorials	1-2

NI Circuit Design Suite Product Line

National Instruments Circuit Design Suite is a suite of EDA (Electronics Design Automation) tools that assists you in carrying out the major steps in the circuit design flow.

Multisim is the schematic capture and simulation program designed for schematic entry, simulation, and feeding to downstage steps, such as PCB layout. *Multisim* also includes mixed analog/digital simulation capability.

The *Multisim MCU Module* adds microcontroller co-simulation.

Ultiboard, fed from Multisim, is used to design printed circuit boards, perform certain basic mechanical CAD operations, and prepare them for manufacturing. Ultiboard also provides automated parts placement and layout.

The Tutorials

This book contains the following step-by-step tutorials:

- *Multisim Tutorial*—introduces you to Multisim and its many functions.
- *Ultiboard Tutorial*—shows you how to place the components and traces for the circuit described in the Multisim Tutorial chapter. You will also learn how to autoplace parts and then autoroute them.
- *Multisim MCU Module Tutorial*—leads you through the process of simulating and debugging a circuit that contains a microcontroller.

For more detailed information on the features discussed in these chapters, refer to the *Multisim User Guide*, the *Ultiboard User Guide*, or the *Multisim MCU Module User Guide*.

2

Multisim Tutorial

This chapter contains a tutorial that introduces you to Multisim and its many functions.

Some of the features described in this chapter may not be available in your edition of Multisim. Refer to the release notes for a list of the features in your edition.

The following are described in this chapter.

Subject	Page No.
Overview	2-1
Schematic Capture	2-2
Opening and Saving the File	2-3
Placing the Components	2-3
Wiring the Circuit	2-7
Simulation	2-9
Virtual Instrumentation	2-9
Analysis	2-11
The Grapher	2-12
The Postprocessor	2-12
Reports	2-13
Bill of Materials	2-13

Overview

This tutorial leads you through the circuit design flow, from schematic capture, through simulation and analysis. After following the steps outlined on the following pages, you will have designed a circuit that samples a small analog signal, amplifies it and then counts the occurrences of the signal on a simple digital counter.

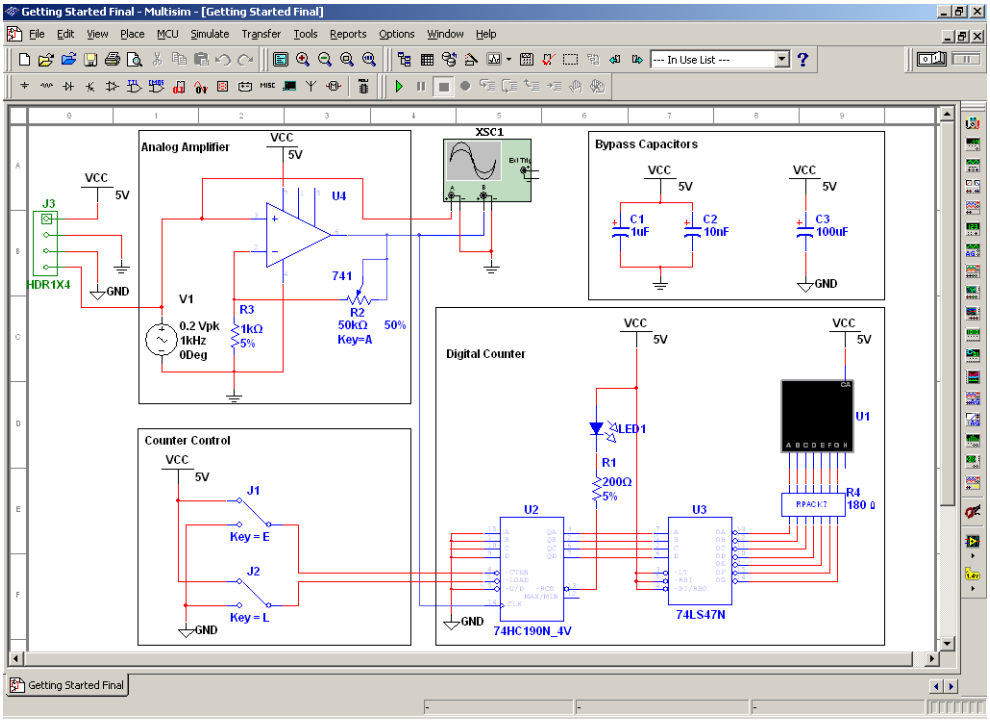
Helpful tips are indicated by the presence of an icon in the left column, as in:

Tip You can access the online help at any time by pressing F1 on your keyboard, or by clicking on the **Help** button in a dialog box.

When you get to the wiring section of this tutorial, you can carry on with the circuit you created in the component placement section, or open the file `Getting Started 1.ms10` (which has all components properly placed) from the `Getting Started` folder (found inside the `samples` folder) and proceed. When you arrive at the simulation section, you can carry on with the circuit you wired, or open the file `Getting Started 2.ms10` (which has all components properly wired).

Schematic Capture

In this section, you will place and wire the components in the circuit shown below.



Opening and Saving the File

To launch Multisim:

1. Select **Start»All Programs»National Instruments»Circuit Design Suite 10.0»Multisim**. A blank file opens on the workspace called "Circuit1".

To save the file with a new name:

1. Select **File»Save As** to display a standard Windows Save dialog.
2. Navigate to the location where you wish the file to reside, enter `MyGettingStarted` as the filename, and click the **Save** button.

Tip To guard against accidental loss of data, set up a timed auto-backup of the file in the **Save** tab of the **Preferences** dialog box.

To open an existing file:

1. Select **File»Open**, navigate to the location where the file resides, highlight the file, and click on the **Open** button.

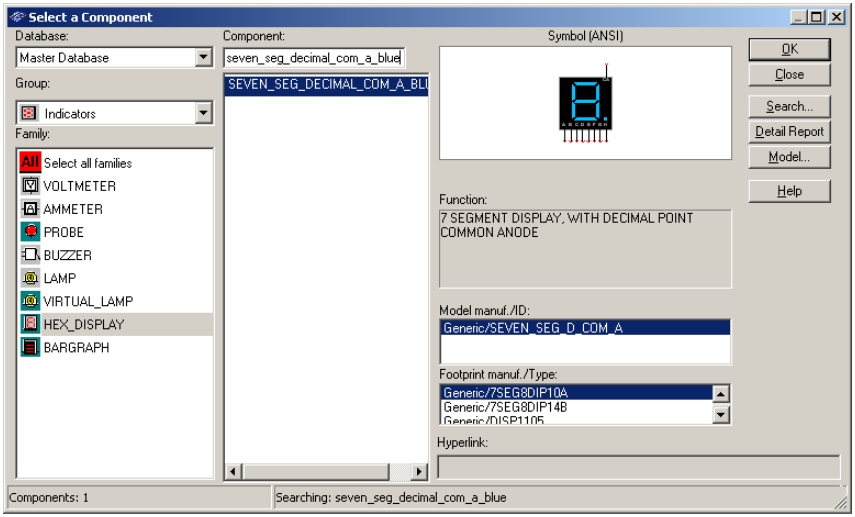
Tip To view files from earlier versions of Multisim, select the desired version in the **Files of Type** drop-down in the **Open** dialog.

Placing the Components

To start placing components:

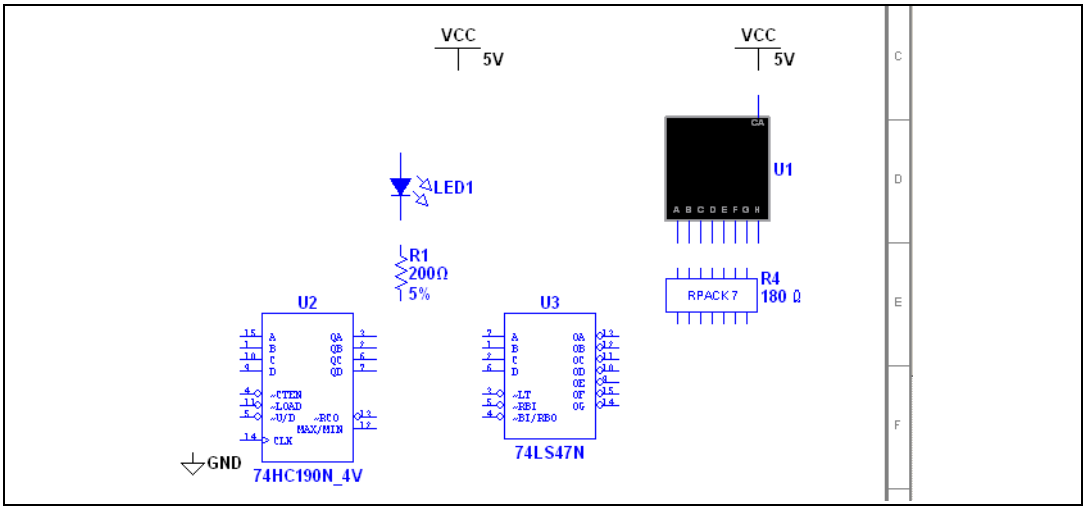
1. Open `MyGettingStarted.ms10` as described above.
2. Select **Place»Component** to display the **Select a Component** browser, navigate to the 7-segment LED display as shown below and click **OK**. The component appears as a "ghost" on the cursor.

Tip Once you have selected the desired **Group** and **Family**, start typing the component's name in the browser's **Component** field. As you type, the string appears in the **Searching** field at the bottom of the browser. In the example below, type "`seven_seg_decimal_com_a_blue`". Matches are displayed as you type.



3. Move the cursor to the bottom-right of the workspace and left-click to place the component. Note that the Reference Designator for this component is "U1".

4. Place the remaining components in the Digital Counter area as shown below.



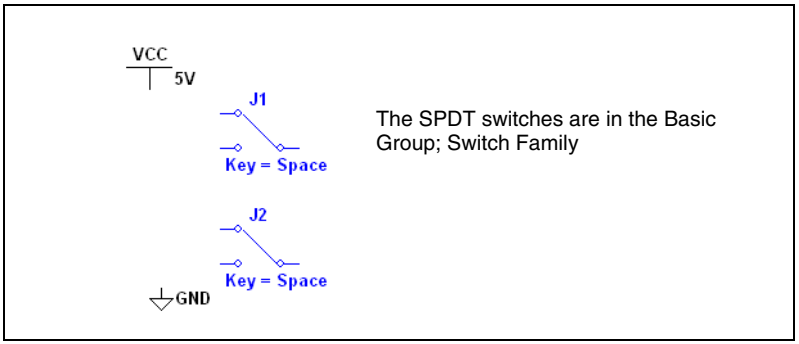
Note When placing resistors, inductors, or capacitors (RLC components), the **Select a Component** browser has slightly different fields than for other components. When placing any of these components, you can choose any combination of: the component's value (for example, the resistance value); type (for example, carbon film); tolerance; footprint and manufacturer. If you are placing a component that will be ultimately exported to PCB layout, and become part of a **Bill of Materials**, you must be careful that the combination of values that you select in the **Select a Component** dialog box are available in a real-world, purchaseable component.

Tip When placing RLC components, type the value of the device that you want to place in the field at the top of the **Component** list. The value does not need to appear in the list to be placed on the schematic.

Tip While placing the 200-ohm resistor, rotate it to a vertical orientation by pressing <Ctrl-R> on your keyboard.

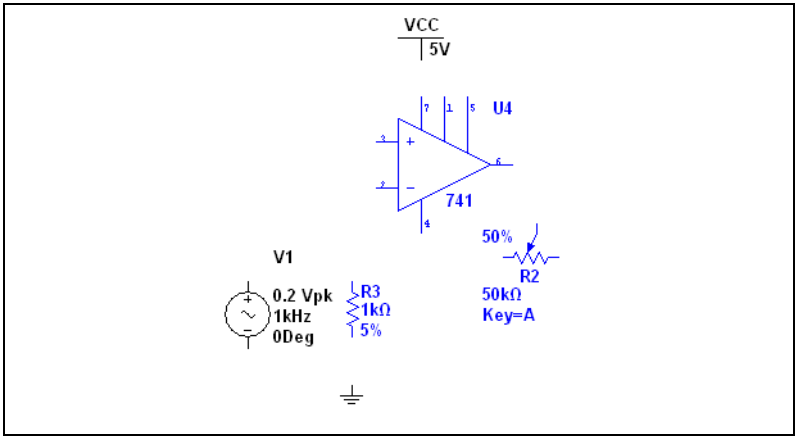
Tip Reference Designators (for example, U1, U2) are assigned in the order the components are placed. If you place components in a different order than in the original circuit, the numbering will differ. This will not affect the operation of the circuit in any way.

5. Place the parts in the Counter Control section. After placement, right-click on each of the SPDT switches and select **Flip Horizontal**.



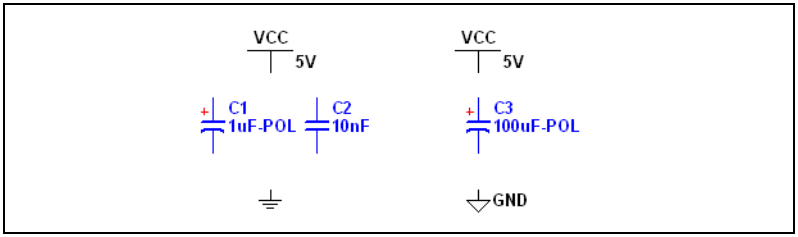
Tip When a part is on the workspace and you want to place the same part again, highlight it and select **Edit»Copy**, then **Edit»Paste**. You can also select it from the **In Use List** and click to place it on the workspace.

6. Place the parts in the Analog Amplifier section as shown below, rotating as needed.

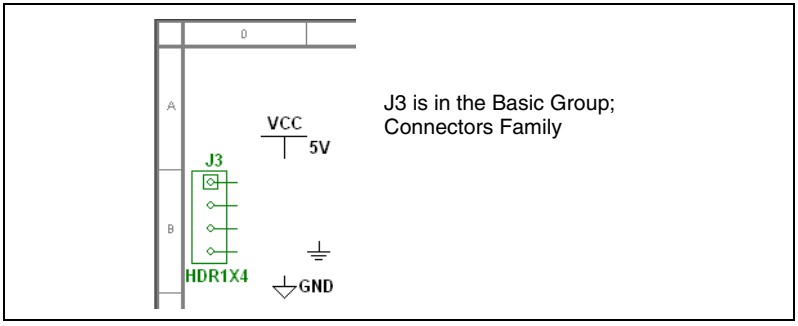


After you place the AC voltage signal source, double-click on it. Change the **Voltage (Pk)** to 0.2 V and click **OK** to close the dialog.

7. Place the parts in the Bypass Capacitors section as shown below.



8. Place the header and associated parts as shown below.



Tip Once you have wired a circuit, you can drop two-pinned passive components like resistors directly onto a wire. The connection is automatically made by Multisim.

Wiring the Circuit

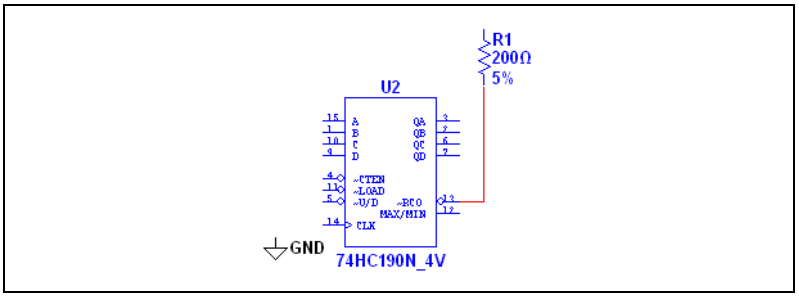
All components have pins that you use to wire them to other components or instruments. As soon as your cursor is over a pin, Multisim knows you want to wire and the pointer changes to a crosshair.

Tip You can wire the circuit that you placed on the workspace or you can use `Getting Started 1.ms10` from the `Getting Started` folder (found inside the `samples` folder).

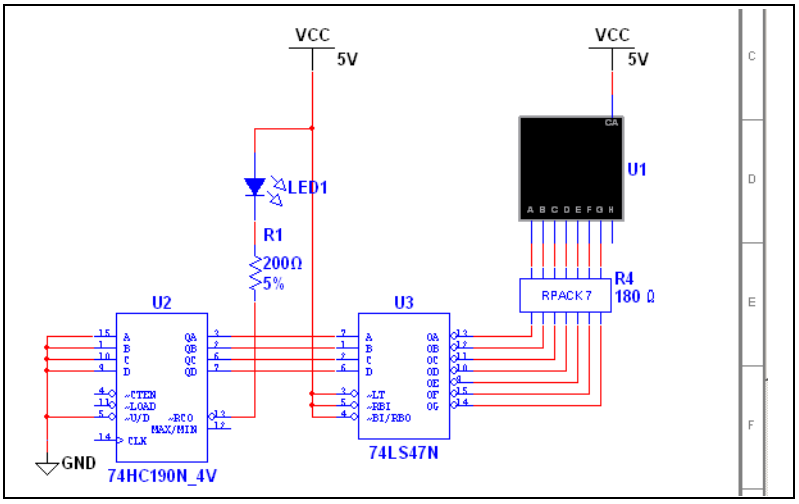
To wire the circuit:

1. Click on a pin on a component to start the connection (your pointer turns into a crosshair) and move the mouse. A wire appears, attached to your cursor.
2. Click on a pin on the second component to finish the connection. Multisim automatically places the wire, which conveniently snaps to

an appropriate configuration, as shown below. This feature saves a great deal of time when wiring large circuits.



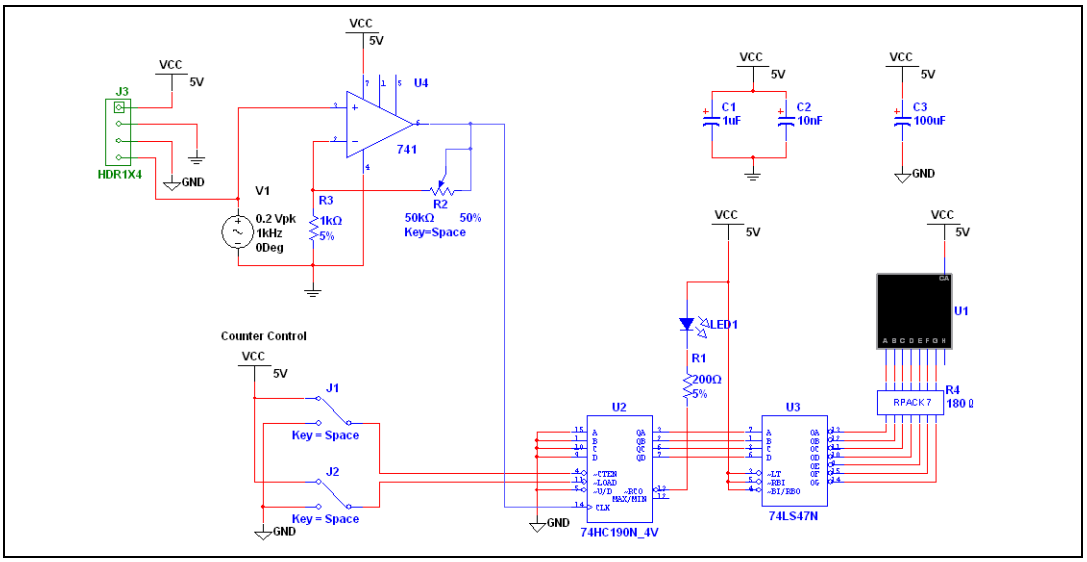
3. You can also control the flow of the wire by clicking on points as you move the mouse. Each click “fixes” the wire to that point.
4. Finish wiring the Digital Counter section as shown below.



Tip Use *Bus Vector Connect* to wire multi-pinned devices like U3 and R4 together. Refer to the *Multisim User Guide* for details.

Tip *Virtual Wiring*—To avoid clutter, you could use virtual connections between the Counter Control and Digital Counter sections. When two nets have the same net name, they are virtually connected.

5. Finish wiring the circuit as shown below.



Simulation

Simulating your circuits with Multisim catches errors early in the design flow, saving time and money.

Virtual Instrumentation

In this section, you will simulate the circuit with the virtual oscilloscope.

Tip You can also use `Getting Started 2.ms10` from the `Getting Started` folder (found inside the `samples` folder).

1. J1, J2 and R2 are interactive components.

   Set up the interactive keys for J1, J2 and R2 by double-clicking on each. In the **Key** field, enter “E” for J1, “L” for J2, and “A” for R2.

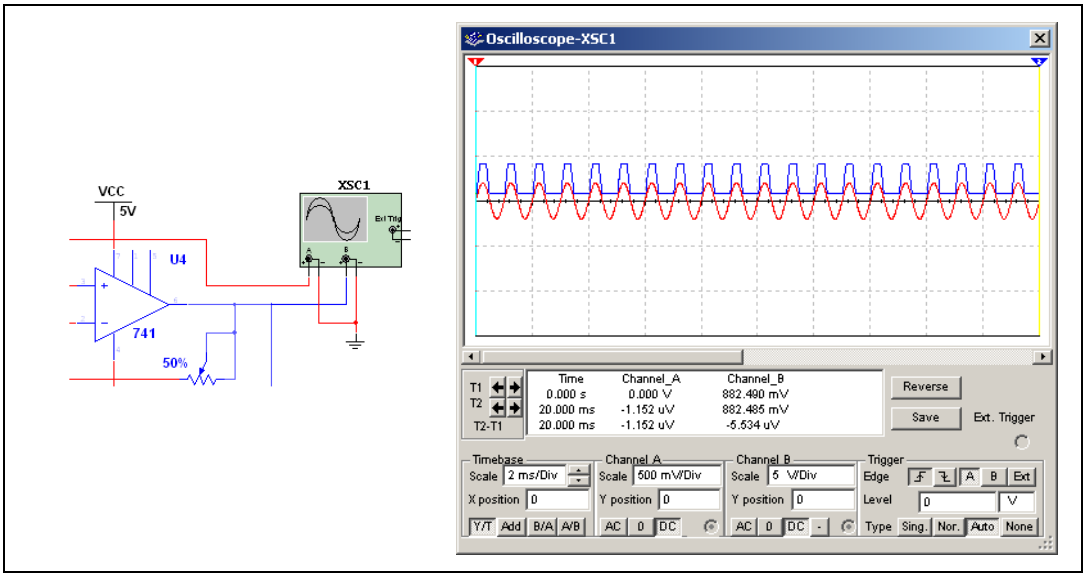
   Press “E” to enable the counter, or just click on the widened switch arm that appears when you hover the cursor over J1.

2. Select **Simulate»Instruments»Oscilloscope** to place the oscilloscope on the workspace. Wire the instrument as shown in step 4.

Tip To easily differentiate between traces on the oscilloscope, right-click on the wire connected to the scope’s “B” input and select **Segment Color** from the pop-up. Select a

color that differs from the wire connected to the “A” input, for example blue. (Simulation cannot be running when changing wire color or performing any other editing function).

3. Double-click on the scope’s icon to show the instrument face. Select **Simulate»Run**. The output of the opamp appears on the scope.
4. Adjust the Timebase to 2mS/Div and Channel A’s Scale to 500mV/Div. You will see the following displayed on the scope.



As the circuit simulates, the 7-segment display counts up and the LED flashes at the end of each count cycle.

5. Press “E” on your keyboard while the simulation is running to enable or disable the counter. Enable is Active Low.

   Press “L” to load zeros into the counter. Load is Active Low.

   Press “Shift-A” to observe the effect of changing the potentiometer’s setting. Repeat, pressing “A”.

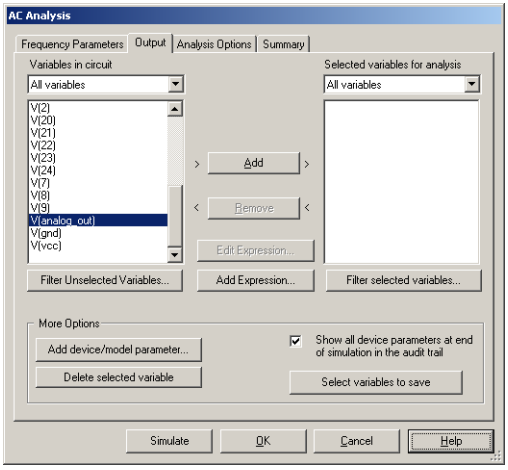
Tip Instead of pressing the above-mentioned keys, you can directly manipulate the interactive components on the schematic with your mouse.

Analysis

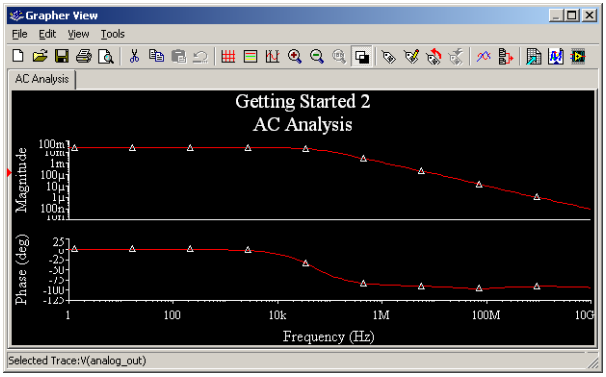
In this section, you will use **AC Analysis** to verify the frequency response of the amplifier.

To perform an **AC Analysis** at the output of the opamp:

1. Double-click on the wire that is attached to pin 6 of the opamp, and change the net name to “analog_out” in the **Net** dialog box.
2. Select **Simulate»Analyses»AC Analysis** and click on the **Output** tab.



3. Highlight `V(analog_out)` in the left column and click **Add**. `V(analog_out)` moves to the right column.
4. Click **Simulate**. The results of the analysis appear in the **Grapher**.

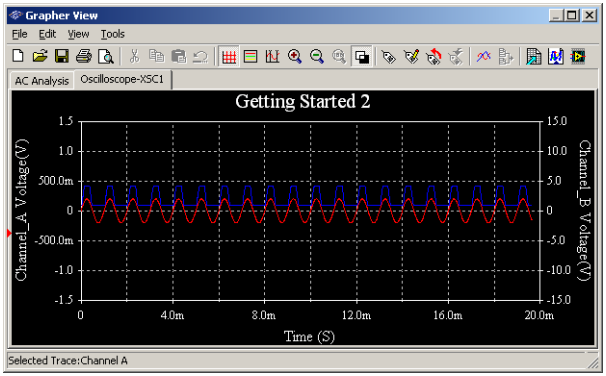


The Grapher

The **Grapher** is a multi-purpose display tool that lets you view, adjust, save and export graphs and charts. It is used to display the results of all Multisim analyses in graphs and charts and a graph of traces for some instruments (for example the results of the oscilloscope).

To view results of a simulation on the **Grapher**:

1. Run the simulation as described earlier.
2. Select **View»Grapher**.



The Postprocessor

The **Postprocessor** lets you manipulate the output from analyses performed on a circuit and plot the results on a graph or chart. Types of mathematical operations that can be performed on analysis results include arithmetic, trigonometric, exponential, logarithmic, complex, vector and logic.

Reports

Multisim allows you to generate a number of reports: Bill of Materials (BOM), Component Detail Report, Netlist Report, Schematic Statistics, Spare Gates and the Cross Reference Report. This section uses the **BOM** as an example for the tutorial circuit.

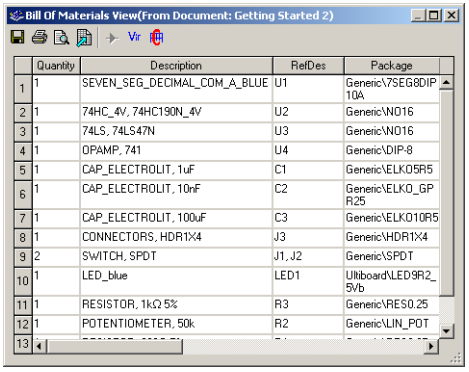
Bill of Materials

A bill of materials lists the components used in your design and therefore provides a summary of the components needed to manufacture the circuit board. Information provided includes:

- quantity of each component needed
- description, including the type of part (example: resistor) and value (example: 5.1 kohm)
- Reference Designator of each component
- package or footprint of each component

To create a **BOM** (bill of materials) for your circuit:

1. Click the **Reports** menu and choose **Bill of Materials** from the menu that appears.
2. The report appears, looking similar to this:



	Quantity	Description	RefDes	Package
1	1	SEVEN_SEG_DECIMAL_COM_A_BLUE	U1	Generic\7SEG8DIP 10A
2	1	74HC_4V, 74HC190N_4V	U2	Generic\NO16
3	1	74LS, 74LS47N	U3	Generic\NO16
4	1	OPAMP, 741	U4	Generic\DIP-8
5	1	CAP_ELECTROLIT, 1uF	C1	Generic\ELKO5R5
6	1	CAP_ELECTROLIT, 10nF	C2	Generic\ELKO_GP R25
7	1	CAP_ELECTROLIT, 100uF	C3	Generic\ELKO10R5
8	1	CONNECTORS, HDR1X4	J3	Generic\HDR1X4
9	2	SWITCH, SPDT	J1, J2	Generic\SPDT
10	1	LED_blue	LED1	Ultiboard\LED9R2_ 5Vb
11	1	RESISTOR, 1kΩ 5%	R3	Generic\RES0.25
12	1	POTENTIOMETER, 50k	R2	Generic\LIN_POT
13				

To print the **Bill of Materials**, click the **Print** button. A standard Windows print screen appears, allowing you to choose the printer, number of copies, and so on.

To save the **Bill of Materials** to a file, click the **Save** button. A standard Windows file save dialog box appears, allowing you to specify the path and file name.

Because the **Bill of Materials** is primarily intended to assist in procurement and manufacturing, it includes only "real" parts—it excludes parts that are not real or able to be purchased, such as sources or virtual components.

To see a list of components in your circuit that are not "real" components, click the **Virtual** button. A separate window appears, showing these components only.

Detailed information on this and other reports can be found in the *Multisim User Guide*.

3

Ultiboard Tutorial

The tutorial in this chapter places the components and traces for the circuit described in the Multisim Tutorial chapter.

Tip For instructions on exporting a design from Multisim to Ultiboard, refer to the *Multisim User Guide*, the *Ultiboard User Guide*, or the helpfiles.

The following are described in this chapter.

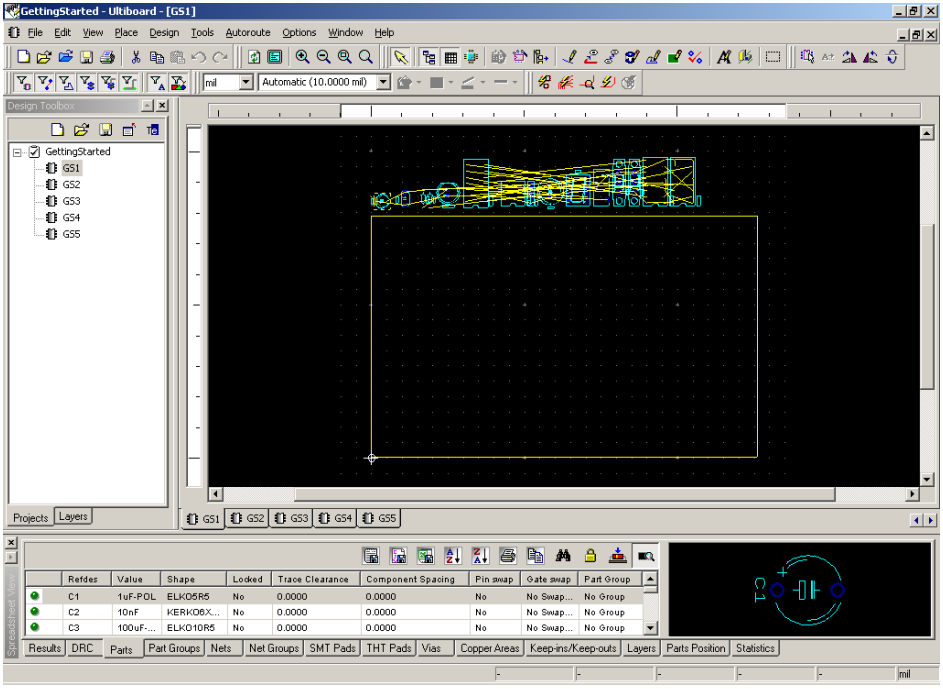
Subject	Page No.
Opening the Tutorial	3-2
Creating a Board Outline	3-3
Placing Components	3-5
Dragging Components from Outside the Board Outline	3-6
Dragging Components from the Parts Tab	3-7
Placing the Tutorial Components	3-7
Placing Parts from the Database	3-8
Moving Components	3-10
Placing Traces	3-11
Placing a Manual Trace	3-12
Placing a Follow-me Trace	3-14
Placing a Connection Machine Trace	3-15
Auto Part Placement	3-16
Autorouting Traces	3-17
Other Features	3-18

Subject	Page No.
Preparing for Manufacturing/Assembly	3-19
Cleaning up the Board	3-19
Adding Comments	3-19
Exporting a File	3-20
Viewing Designs in 3D	3-20

Opening the Tutorial

To open the tutorial file:

1. Select **Start»All Programs»National Instruments»Circuit Design Suite 10.0»Ultiboard** to launch Ultiboard.
2. Select **File»Open**.
3. Navigate to the `quickstart` folder found in your NI Circuit Design Suite installation directory (for example, `...\samples\Getting Started`), select `Getting Started.ewprj` and click **Open**. The project file is loaded into Ultiboard.


GettingStarted - Ultiboard - [GS1]
File Edit View Place Design Tools Autoroute Options Window Help
Design Toolbox
GettingStarted
GS1
GS2
GS3
GS4
GS5
Projects Layers
Refdes Value Shape Locked Trace Clearance Component Spacing Pin swap Gate swap Part Group
C1 1uF-POL ELKO5R5 No 0.0000 0.0000 No No Swap... No Group
C2 10nF KERKO6X... No 0.0000 0.0000 No No Swap... No Group
C3 100uF-... ELKO10R5 No 0.0000 0.0000 No No Swap... No Group
Results DRC Parts Part Groups Nets Net Groups SMT Pads THT Pads Vias Copper Areas Keep-ins/Keep-outs Layers Parts Position Statistics

4. To select a design (for example, `GS1`) either click on its tab, or click on its name in the **Projects** tab of the **Design Toolbox**.

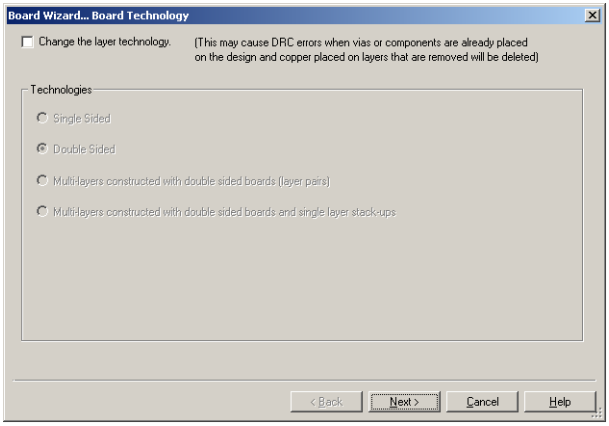
Creating a Board Outline

You can create a board outline in one of the following ways:

- draw a board outline using the drawing tools
- import a DXF file
- use the **Board Wizard**.

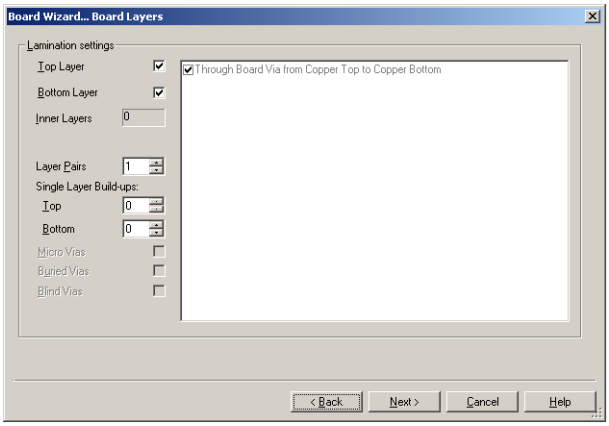
To experiment with the **Board Wizard**:

1. Double-click on **Board Outline** in the **Layers** tab.
2. Click on the existing board outline in the `Quick1` design and press <Delete>.
3. Choose **Tools»Board Wizard**.


Board Wizard... Board Technology
Change the layer technology.
(This may cause DRC errors when vias or components are already placed on the design and copper placed on layers that are removed will be deleted)
Technologies
Single Sided
Double Sided
Multi-layers constructed with double sided boards (layer pairs)
Multi-layers constructed with double sided boards and single layer stack-ups
< Back
Next >
Cancel
Help

4. Enable the **Change the layer technology** option to make the other options available.
5. Choose **Multi-layers constructed with double sided boards and single layer stack ups**, and click **Next**.

6. The next dialog box allows you to define the **Lamination Settings** for the board. (For this tutorial you will not change settings.)



7. Click **Next**.

   In the **Shape of Board** dialog box:

   - make sure the **Reference Point** is set to **Left-Bottom** for **Alignment**
   - make sure the **Rectangular** option is selected
   - set the **Width** to 3000 and the **Height** to 2000 (a more suitable size for the components in this design)
   - set the **Clearance** to 5.00000. This is the distance from the edge of the board that is to be kept free of any other elements.

8. Click **Finish**. The board outline is placed on your design.

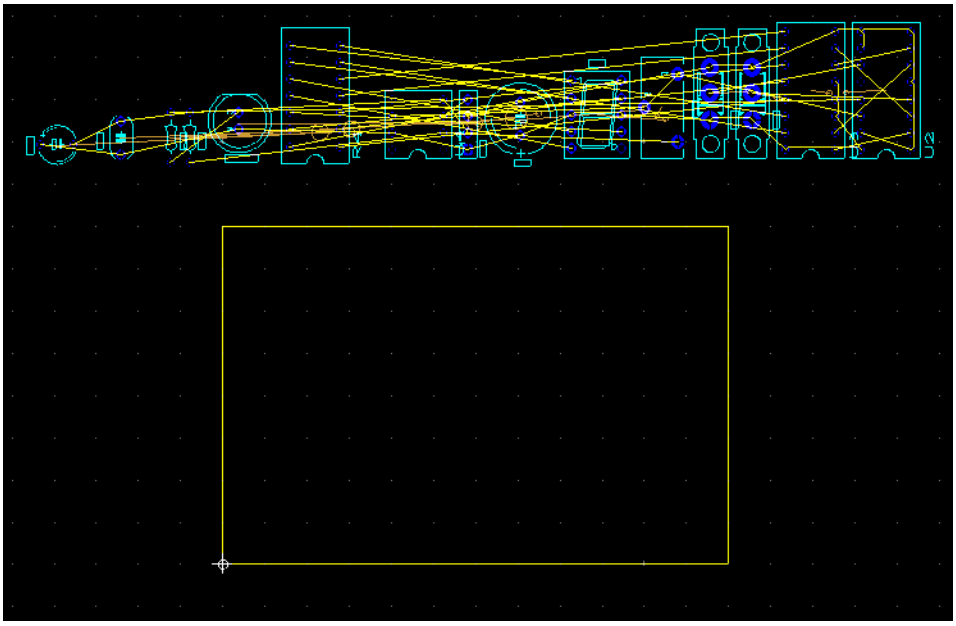
Note For complete details on the **Board Wizard**, refer to the *Ultiboard User Guide*.

To move the board outline:

1. Double-click on **Board Outline** in the **Layers** tab.
2. Click anywhere on the board outline in the workspace and drag the board to a location just below the row of components.

To change the reference point:

1. Select **Design»Set Reference Point**. The reference point is attached to your cursor.
2. Move the cursor the lower-left corner of the board outline and click to place it.



Placing Components

You can place components on your `GS1` design file in several different ways:

- select one or more components from outside the board outline and drag them into place
- use the **Parts** tab in the **Spreadsheet View** to locate components and place them
- select parts from the database.

Tip You can use the **Place/Unplace Components** command to quickly remove all non-locked components from the PCB and experiment with a different placement technique.

Dragging Components from Outside the Board Outline

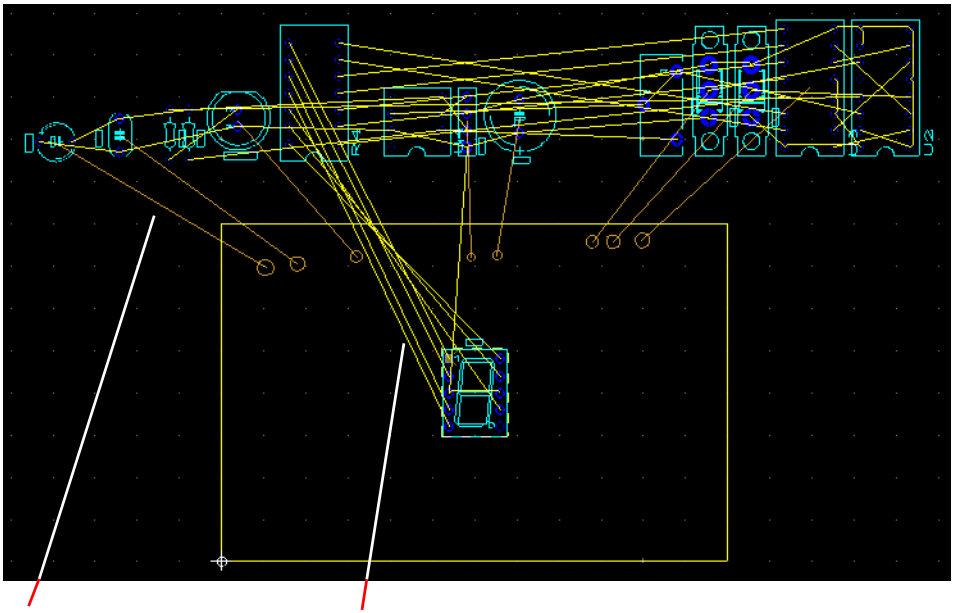
By default, components are placed outside the board outline when you open a netlist from Multisim or another schematic capture program. Before you begin, double-click the **Copper Top** layer in the **Design Toolbox** to make it the active layer.

To drag U1 from outside the board outline:

1. Find U1 in the collection of components outside the board outline. To make this easier, zoom in (press F8) until you can see U1.

Tip You can also search for a part with the **Edit»Find** command. While this command works much like a Find function in other applications, it also allows you to search for a part by name, number, shape, value, or by all variables. Refer to the *Ultiboard User Guide* for details.

2. Click on U1 (the 7-segment display) and drag it to the center of the board.



Force Vector. For details, refer to the *Ultiboard User Guide*.

Ratsnest. Refer to the *Ultiboard User Guide* for details.

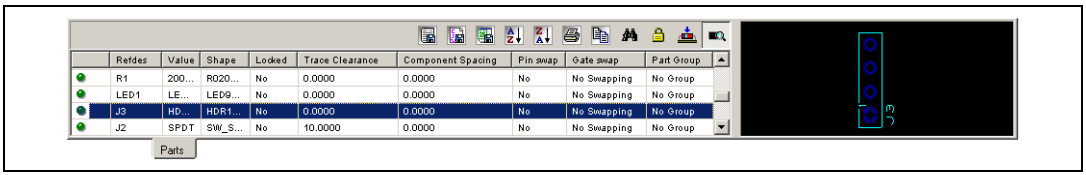
U1 remains selected. This is an important point for Ultiboard that holds throughout the application—you need to explicitly end any particular action. In this case, simply clicking somewhere else de-selects the component. Right-clicking also ends the current action.

3. Go to the **Parts** tab in the **Spreadsheet View** and scroll to U1. You will notice that the green light beside the component is slightly brighter—this indicates that the component has been placed.

Dragging Components from the Parts Tab

To drag components from the **Parts** tab:

1. In the **Parts** tab, scroll down until you see J3.



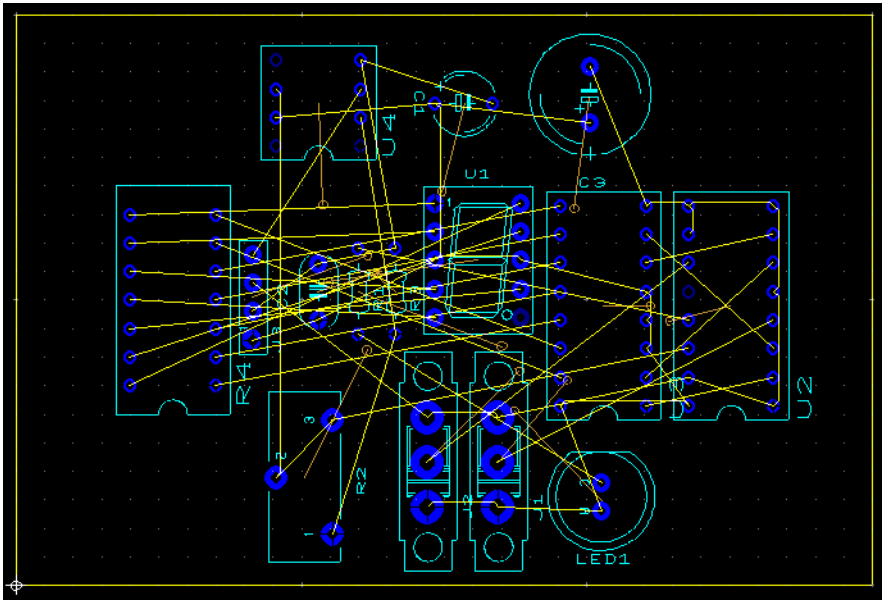
2. Click on J3 and drag it from the **Parts** tab onto the workspace. J3 is attached to your mouse pointer.
3. Drop J3 on the left side of the board, roughly in the middle. As before, in the **Parts** tab J3's green light is slightly brighter, indicating that the component has been placed.

For even more rapid placement of parts, in the **Parts** tab select an unplaced part (its green light is dim) and click the **Start Placing the Unpositioned Parts** button. Ultiboard systematically goes through the list of components in the **Parts** tab, selecting each one and attaching it to your mouse pointer so you can place it, then selecting the next one on the list.

Placing the Tutorial Components

Using any method or combination of methods, make your layout look like the illustration below. You can also simply open the next design file in the project, `GS2`, which has already been set up this way.

Your design should look like this:



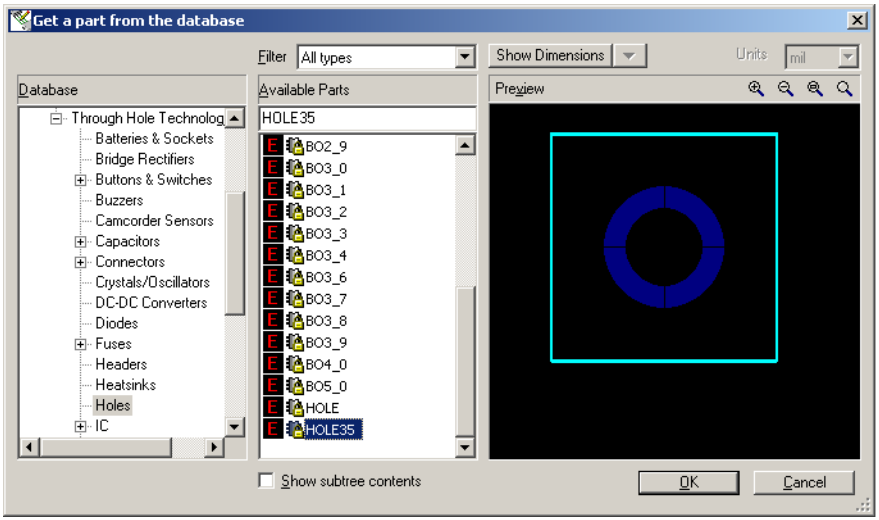
Placing Parts from the Database

In addition to placing parts imported as part of your design file, you can place parts directly from the database. The following uses this method to place the mounting holes.

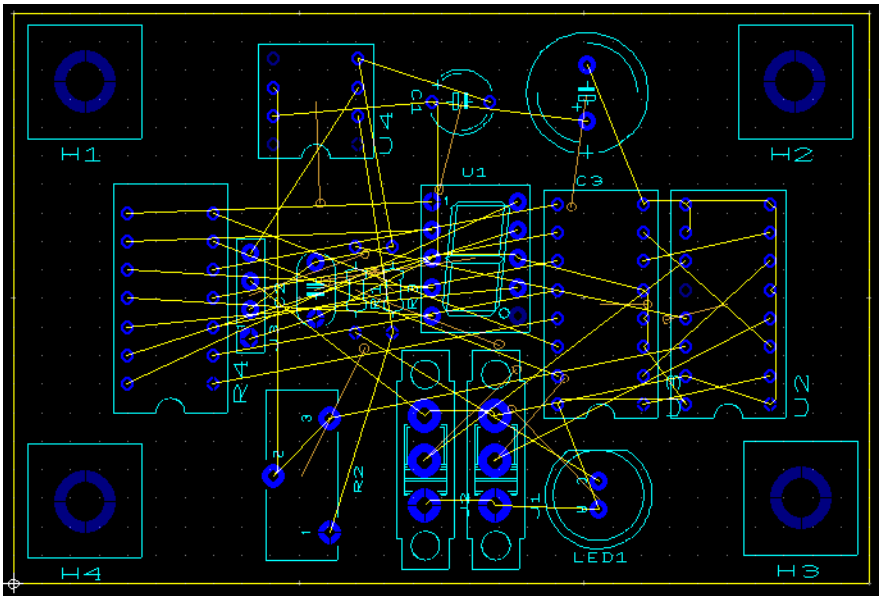
To place parts from the database:

1. Choose **Place»From Database**. The **Get a part from the Database** dialog box opens:
2. In the **Database** panel, expand the **Through Hole Technology Parts** category and navigate to the **Holes** category. The parts appear in the **Available Parts** panel.

3. In the **Available Parts** panel, select the Hole35 part. The part displays in the **Preview** panel.



4. Click **OK**. The **Get a part from the database** dialog box disappears, and you are prompted to enter the **RefDes** and **Value**.
5. Enter the hole's reference designator (H1) and value (HOLE) and click **OK**.
6. Move the pointer over the board. The part is attached to the pointer.
7. When the hole is in position in the top-left corner, click to drop it on the board.
8. The **Enter Reference Designation for Component** dialog box reappears, with the reference designator automatically incremented to H2. Click **OK** to place the next mounting hole in the top right corner, and repeat to place H3 in the bottom right corner, and H4 in the bottom left corner. Click **Cancel** to stop, and click **Cancel** again to close the **Get a part from the database** dialog box.



Moving Components

You can use the same methods for moving components as you do for placing them. To select a component already on the board, simply click on it. To specify the X/Y coordinates to which the selected part is to move, press the * key on the numeric keypad. Alternatively, in the **Parts** tab, select a placed component (indicated by a bright green light beside it) and drag it to a new location.

Tip The component's label is a separate element from its footprint. When selecting a component on the board, be sure to select the whole component, not just the label.

Tip Once a component is selected, you can also move it around on the board by pressing the arrow keys on your keyboard.

You can also select a group of components and move them together. To do this, you can do one of the following:

- hold down the <Shift> key and click on more than one component
- drag a box around several components.

All the selected components will move together when you drag the cursor.

Tip These are temporary groups—once you select another component, the group connection is lost. To make a group that remains until you remove it, you can use the **Group Editor**. For details, refer to the *Ultiboard User Guide*.

Another option for moving components is to use the **Edit»Align** commands to align the edges of selected components or to space them relative to each other.

Use the **Edit»Align** commands to align the mounting holes you just placed:

1. Select H1 and hold down the <Shift> key to select H2.
2. Choose **Edit»Align»Align Top**. If H2 was not originally placed exactly in line with H1, you will see it move.
3. Click on an empty space on the board, then select H2 and H3.
4. Choose **Edit»Align»Align Right**.
5. Continue in this manner to align the bottoms of H3 and H4, and the left sides of H1 and H4.

Placing Traces

You have the following options for placing traces:

- manual trace
- follow-me trace
- connection machine trace.

A manual trace is placed exactly as you specify, even running through a component if that is the path you set out. A follow-me trace automatically draws a legal trace between the pins you select with your mouse movements—you can move from pin to pin, leaving a legal trace. A connection machine trace automatically joins two pins by the most efficient route, though you have the option of changing it.

As you place a trace, and before you click to fix it in place, you can always remove a segment by backing up over it. Each time you click while placing a manual trace, or each time a follow-me trace or connection machine trace changes direction, a separate segment of that trace is created. When performing operations on traces, be sure to select either the appropriate segment or, if you wish, the whole trace.

Placing a Manual Trace

You can continue with the design you have been working on, or open `GS3`. Be sure you are on the **Copper Top** layer before beginning.

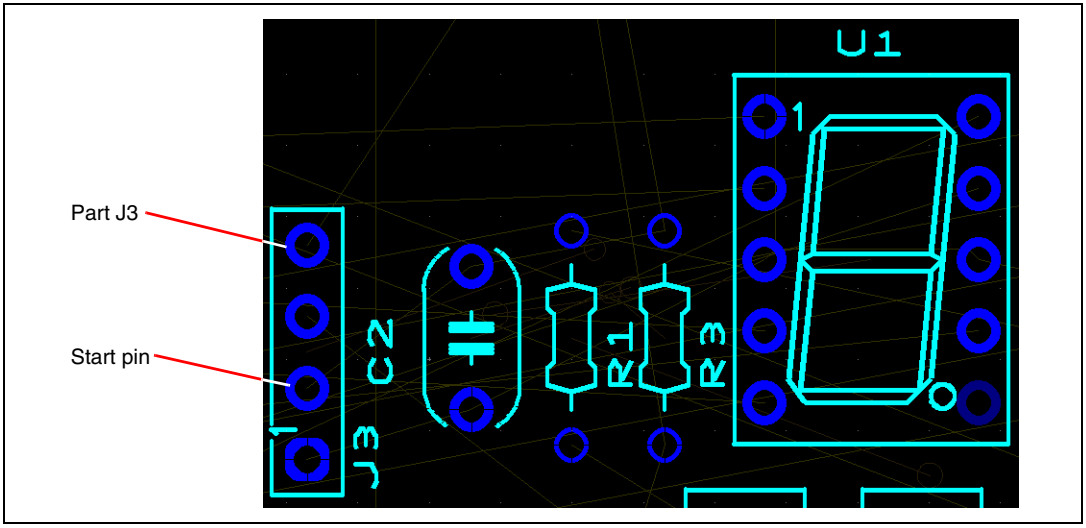
Tip If necessary, press F7 to show the whole design.

To place a trace manually:

1. Choose **Place»Line**.

Tip The **Line** command is used to create a line on any layer. The results differ depending on the layer selected. For example, if the selected layer is silkscreen, you will create a line on the silkscreen layer of the PCB. If the selected layer is a copper layer, then the "line" is actually a trace.

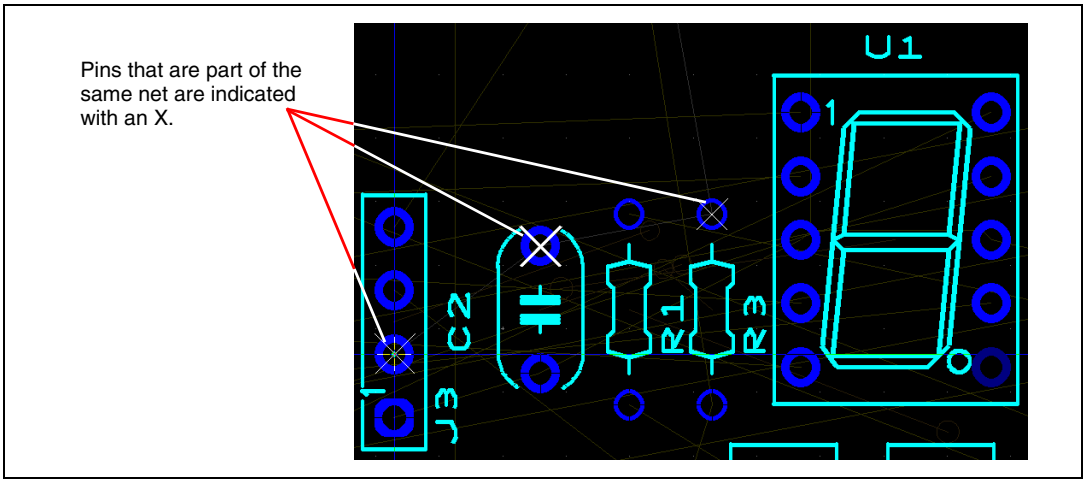
2. Locate J3, toward the left-hand part of the board. Find the start pin shown below:



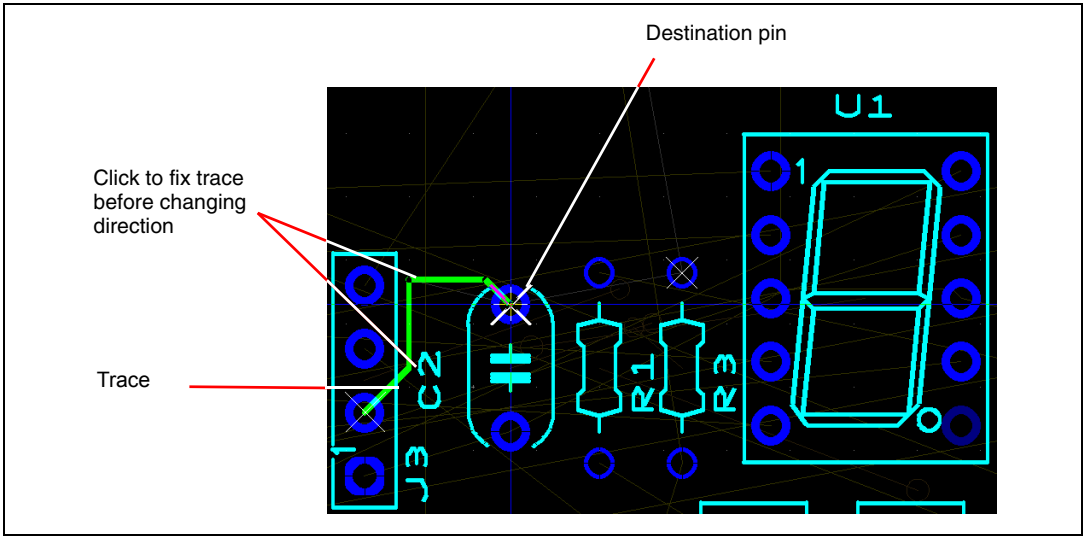
Tip If you have trouble locating the component, use the **Find** function of the **Parts** tab. Select the component in the **Parts** tab, then click the **Find and select the part** button. The component is shown in the workspace. If necessary, zoom in further using F8.

3. Click on the pin specified in the above step. Ultiboard highlights all the pins that are part of the same net as the pin you clicked on. (The color of the highlighting can be changed in the **Colors** tab of the

Preferences dialog box). This is how you know where to connect to pins to match the connectivity from your schematic.



4. Move the cursor in any direction. A green line (the trace) is attached to the selected pin. Each time you click you anchor the trace segment.
5. Click on the destination pin.

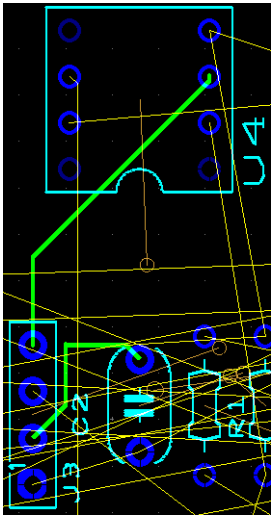


6. Right-click to stop placing traces.

Placing a Follow-me Trace

To place a follow-me trace:

1. Choose **Place»Follow-me**.
2. Click on the top pin of J3.
3. Click on the second pin in the right column of U4.
4. Ultiboard draws the connection for you.

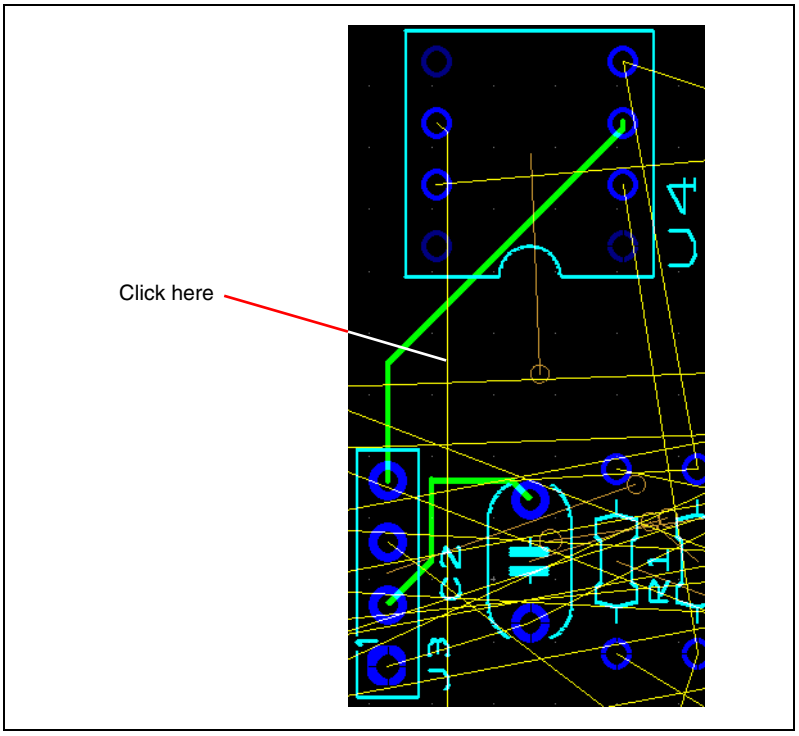


Tip You do not need to click exactly on a pin—you can also start by clicking on a ratsnest line.

Placing a Connection Machine Trace

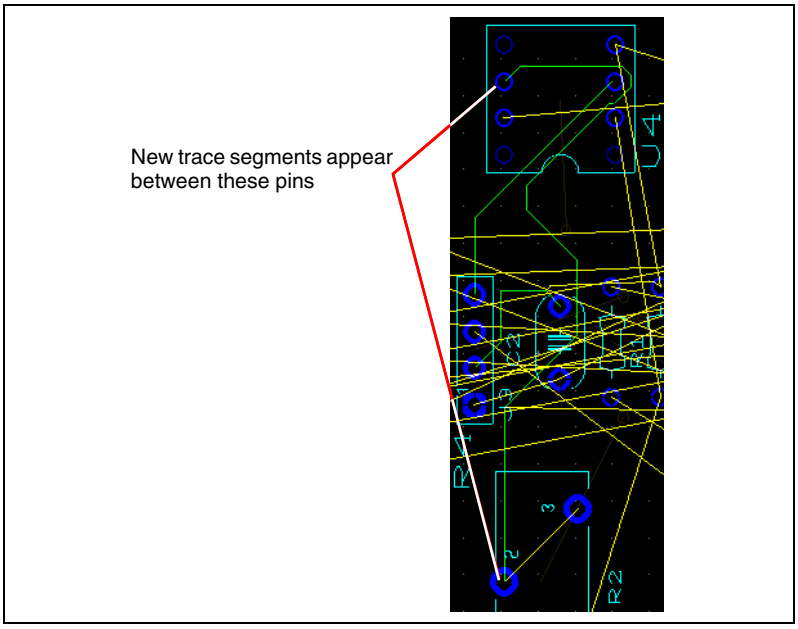
To place a **Connection Machine** trace:

1. Choose **Place»Connection Machine**.
2. Click on the segment of the ratsnest indicated below.



3. Move your cursor—Ultiboard suggests various traces routed around obstacles.

4. When you see the route you want, click to fix the trace. You don't have to click on the ratsnest or the destination pin.



5. Right-click to end trace placement.

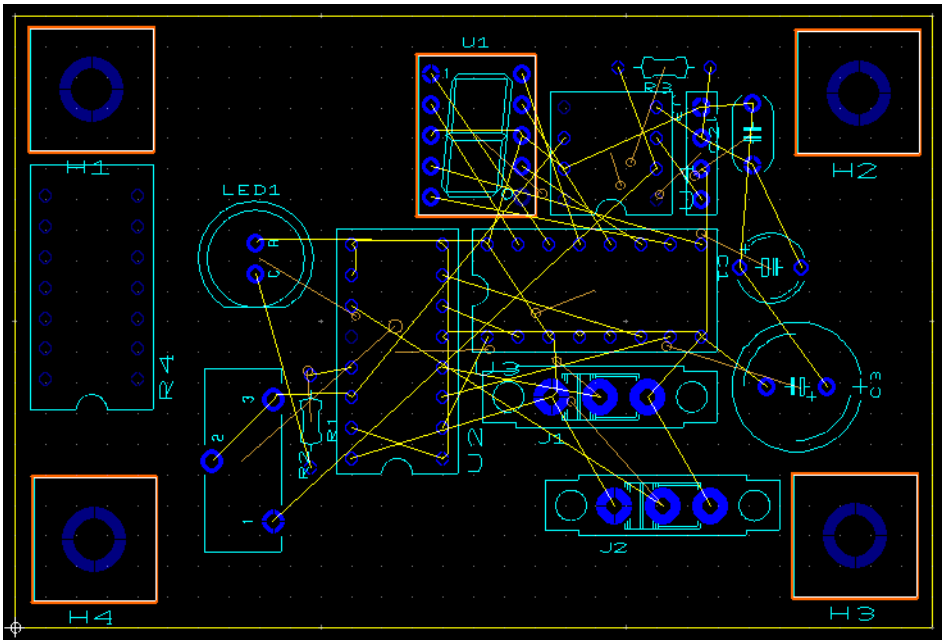
Auto Part Placement

As well as placing parts as described earlier in this chapter, you can use Ultiboard's advanced automatic part placement functionality.

Tip Before autoplacing parts, pre-place and lock any components that you do not wish to be moved during the autoplacement process. (The mounting holes and U1 in `GS5` have been pre-placed and locked). For details on locking parts, refer to the *Ultiboard User Guide*.

To autoplace the parts in `Getting Started.ewprj`:

1. Open the `GS5` design in Ultiboard.
2. Select **Autoroute»Start Autoplacement**. The parts are placed on the circuit board.



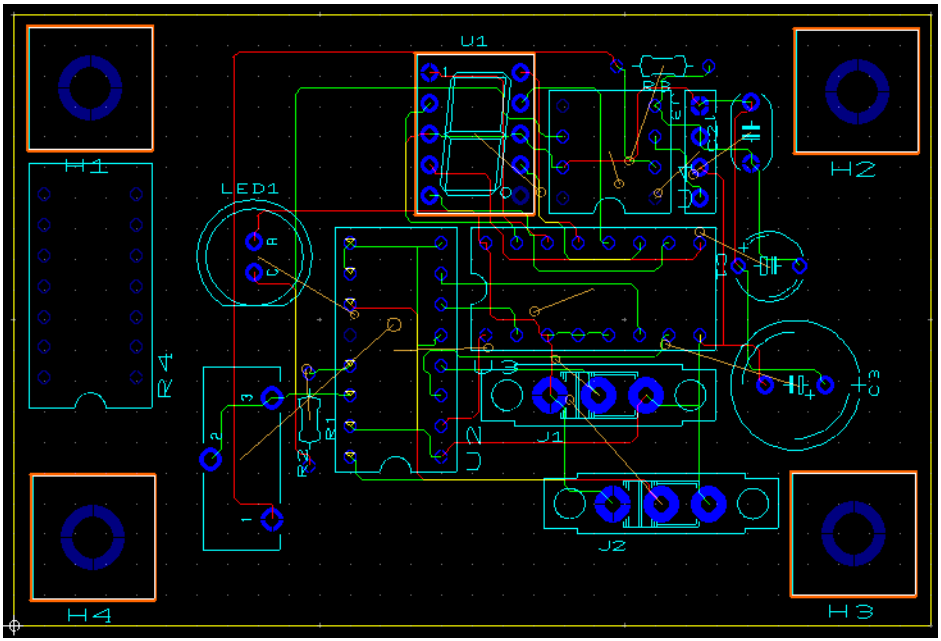
Autorouting Traces

You can place traces in Ultiboard using the methods described earlier in this chapter, or automatically route the traces as described below.

To autoroute the traces in `Getting Started.ewprj`:

1. Select **Autoroute»Start/Resume Autorouter**. The workspace goes to Autorouting Mode and trace autorouting begins.

   As autorouting proceeds, you will see traces being placed on the board. When autorouting is complete, Autorouting Mode closes and you are returned to the workspace.
2. Optionally, select **Autoroute»Start Optimization** to optimize the placement of the traces.



The autorouter can be stopped at any time and you can make manual changes as desired. When you restart the autorouter, it will continue with the changes you made. Remember to lock any traces that you have placed manually and do not wish to be moved by the autorouter.

Tip Use the **Routing Options** dialog box to modify autoplacement and autorouting options. Refer to the *Ultiboard User Guide* for details.

Other Features

Ultiboard has many other useful features, including:

- **Net Bridges**—use to make connections between different nets (e.g., digital and analog grounds) without losing the properties of either net.
- **PCB Transmission Line Calculator**—use to calculate the following parameters for typical printed circuit board trace geometries:
  - Characteristic Impedance (Zo)
  - Per unit length Capacitance (Co)
  - Per unit length Inductance (Lo)
  - Propogation Delay (tpd)

- **PCB Differential Impedance Calculator**—performs calculations for two traces that carry signals that are exactly equal and opposite (a differential pair); use to calculate the following parameters for differential pairs:
  - Characteristic Impedance (Zo)
  - Per unit length Capacitance (Co)
  - Per unit length Inductance (Lo)
  - Propogation Delay (tpd)
  - Differential Impedance (Zdiff)

Preparing for Manufacturing/Assembly

Ultiboard can produce many different output formats to support your production and manufacturing needs. This section explains the functions performed to output your board for production and documentation purposes.

Cleaning up the Board

Before sending the board for manufacturing, you should clean up any open trace ends (trace segments that do not have any terminating connections in the design) and unused vias that have been left on the board.

To delete open trace ends, make sure the `GS4` design is open and choose **Edit»Copper Delete»Open Trace Ends**. This deletes all open trace ends in the design.

To delete any unused vias, make sure the design is open and choose **Design»Clean Unused Vias** to delete all vias that do not have any trace segments or copper areas connected to them.

Adding Comments

Tip Comments can be used to show engineering change orders, to facilitate collaborative work among team members, or to allow background information to be attached to a design.

You can “pin” a comment to the workspace, or directly to a component. When a component with an attached comment is moved, the comment also moves.

For details, refer to the *Ultiboard User Guide*.

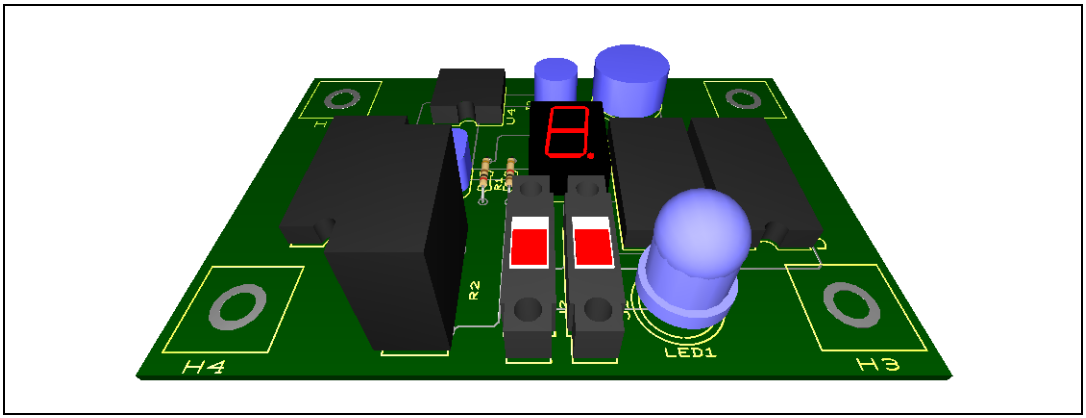
Exporting a File

Exporting a file refers to producing an output from Ultiboard in a format that can be understood by the board manufacturer. An exported file contains complete information describing how a finished board is to be manufactured. Files that can be exported include Gerber RS-274X and RS-274D files.

For complete details, refer to the *Ultiboard User Guide*.

Viewing Designs in 3D

Ultiboard lets you see what the board looks like in three dimensions at any time during the design. For complete details, refer to the *Ultiboard User Guide*.



Tip You can use the **Internal View** to look between the layers of a multi-layer PCB. For details, refer to the *Ultiboard User Guide*.

4

Multisim MCU Module Tutorial

The tutorial in this chapter leads you through the process of simulating and debugging a circuit that contains a microcontroller.

The following are described in this chapter.

Subject	Page No.
Overview	4-1
About the Tutorial	4-2
Understanding the Assembly Program	4-4
Advanced Features	4-7
Debug View Overview	4-7
Adding a Breakpoint	4-9
Break and Step	4-11
Break and Step Out	4-12
Break and Step Into	4-12
Break and Step Over	4-12
Run to Cursor	4-12

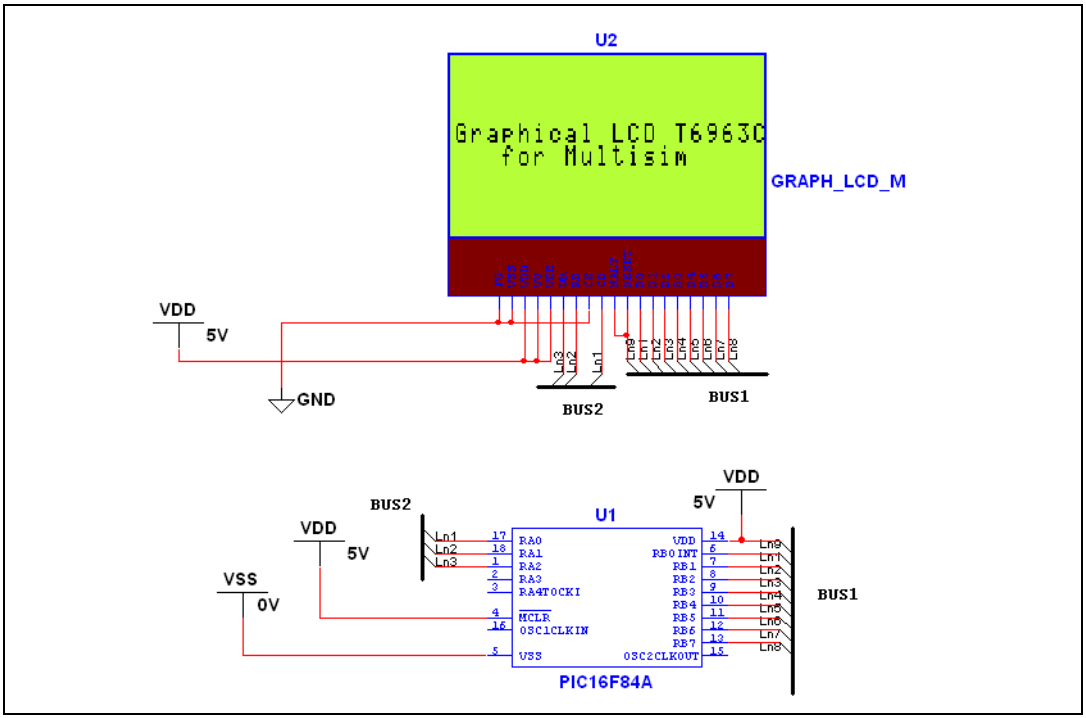
Overview

The files used for this tutorial install with your NI Circuit Design Suite software at `...\samples\Getting Started`.

This tutorial uses `Getting Started MCU.ms10`, which accesses the contents of folder `LCDWorkspace` as required.

The LCD Graphical Display circuit example demonstrates the use of a PIC microcontroller to control a graphical LCD display component in Multisim based on a combination of the Toshiba T6963C controller and an external display RAM. To control the LCD display, the microcontroller sends

signals to the LCD through the LCD's data and control lines. A software program written for the microcontroller determines the logic behind setting the lines on its pins to high or low to send commands and data to the LCD display.



About the Tutorial

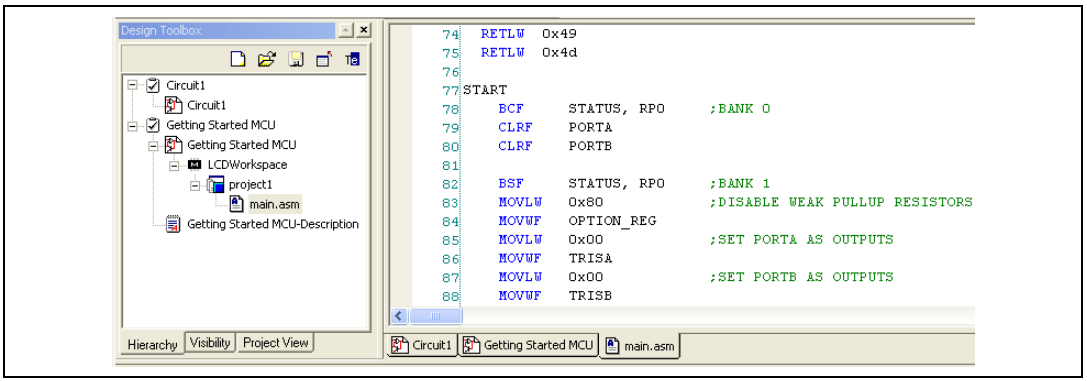
The data lines of LCD U2 are connected to pins RB0–RB7 on microcontroller U1. The control lines of the LCD are connected to RA0–RA2 on the microcontroller. The MCU U1 communicates with the LCD U2 via these wires. Data is sent to U2 in parallel and signals on the control lines determine the timing and type of data being sent (i.e., address or data).

The LCD Graphical Display can operate in three modes: text mode, graphical mode and a combination text and graphical mode. This example demonstrates the controlling of the LCD Graphical Display in a combination text and graphical mode. The software that the MCU runs is contained in an MCU workspace that displays in the **Design Toolbox** as

LCDWorkspace. The workspace contains one project project1 that consists of a single source code file main.asm.

To view the file:

1. Double-click on main.asm in the **Design Toolbox**. A tab appears in the schematic capture workspace called main.asm that displays the assembly program.



To display the line numbers, select **MCU»Show Line Numbers**.

To run this circuit:

1. Select **Simulate»Run**. If you did not build your program beforehand, a dialog box displays stating that the configuration is out of date and asks if you would like to build it. Click **Yes**. The results of the build display in the **Results** tab of the **Spreadsheet View**. If there are no errors or warnings, the program built successfully. (The sample program should not contain any errors.)

   The program displays the line "Graphical LCD T6963C for Multisim" characters in text mode; the LCD then switches to graphical mode and draws an inverted "V" dot-by-dot on top of the text.

   Once the lines are drawn, the text scrolls right and then left. This is achieved by moving the start address of the text buffer of the LCD display. This also demonstrates that there are two buffers in the LCD, one for storing graphics and another for storing text. Other features of the LCD such as text flashing and erasing of characters are also demonstrated.

   The LCD display program continues to cycle through each of these effects.

To stop the simulation, select **Simulate»Stop**.

Understanding the Assembly Program

Constants and data

To make the program easier to understand, the LCD display commands and temporary buffers for storing addresses and data in the MCU are predefined in constants at the start of the program:

```
DATA_BUFFER           EQU          0x20
DATA_BUFFER2          EQU          0x21
CMD_BUFFER            EQU          0x22
REF_BUFFER            EQU          0x24

ADDR_INDEX            EQU          0x25                ;STARTING ADDRESS IN EEPROM
ADDR_L                EQU          0x26                ;STARTING ADDRESS L
ADDR_H                EQU          0x27                ;STARTING ADDRESS H
COUNTER_INDEX         EQU          0x29                ;COUNTER
BIT_INDEX             EQU          0x2A                ;BIT INDEX

CMD_SET_CURSOR EQU    21H          ;SET CURSOR
CMD_TXHOME            EQU    40H   ;SET TXT HM ADD
CMD_TXAREA            EQU    41H   ;SET TXT AREA
CMD_GRHOME            EQU    42H   ;SET GR HM ADD
CMD_GRAREA            EQU    43H   ;SET GR AREA
CMD_OFFSET            EQU    22H   ;SET OFFSET ADD
CMD_ADPSET            EQU    24H   ;SET ADD PTR
CMD_SETDATA_INC       EQU    0C0H  ;WRITE DATA AND INCREASE ADP
CMD_AWRON             EQU    0B0H  ;SET AUTO WRITE MODE
CMD_AWROFF            EQU    0B2H  ;RESET AUTO WRITE MODE
```

The text to be displayed on the LCD display is stored in data tables for some microcontrollers, but there is no PIC assembly instruction that allows you to directly address a data value in the program memory space. Instead, you can load literal values into the W register so you can write a routine that returns a value in your string based on an index. The `RETLW` instruction loads a constant value into the W register and executes a `RETURN` in one instruction.

The `TXPRT` routine retrieves the text data to be displayed on the LCD display. The character codes for the LCD display are defined in the T6963C controller reference manual (e.g. `0x27` is the code for the letter “G”, `0x52` for “r”, and so on:

```
;  DATA
DATA_NUM                EQU    23H
TXPRT                   ; Text data "Grapical LCD T6963C   for Multisim"
  ADDWF  PCL, 1
  RETLW  0x27
  RETLW  0x52
  RETLW  0x41
  RETLW  0x50
  RETLW  0x48
  RETLW  0x49
  RETLW  0x43
  RETLW  0x41
  RETLW  0x4c
  RETLW  0x00
  RETLW  0x2C
  …
```

Initialization

The initialization code begins at the START label as shown in the excerpt below. The pins in the microcontroller are set up as output pins, and the values are reset. The LCD display component is initialized by the microcontroller and set to graphical and text mode. The home addresses for the internal graphical and text buffers in the LCD display component are set to 0x0000 and 0x2941 respectively, which determines where on the display the LCD starts to display the buffer data. Finally, the control signals are set up for the proper read/write operation on the LCD display.

```
START
        BCF     STATUS, RP0             ;BANK 0
        CLRF    PORTA
        CLRF    PORTB

        BSF     STATUS, RP0             ;BANK 1
        MOVLW   0x80                    ;DISABLE WEAK PULLUP RESISTORS
        MOVWF   OPTION_REG
        MOVLW   0x00                    ;SET PORTA AS OUTPUTS
        MOVWF   TRISA
        MOVLW   0x00                    ;SET PORTB AS OUTPUTS
        MOVWF   TRISB

        BCF     STATUS, RP0             ;BANK 0
        MOVLW   0x0F                    ; 1111 no commands ready
        MOVWF    PORTA

;1 SET DISPLAY MODE to GRAPH + TEXT mode, cursor off
        MOVLW   0x9C
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD
…
```

Drawing Text and Graphics

The rest of the program sends commands to the LCD graphical display via the control lines through MCU pins RA0 to RA2 and data through the data lines:

```
;5 write string
        MOVLW   0x7D
        MOVWF   DATA_BUFFER
        MOVLW   0x29
        MOVWF   DATA_BUFFER2   ; external CG start at: 1400h
        CALL    DT2
        MOVLW   CMD_ADPSET
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD

        MOVLW   CMD_AWRON
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD

        MOVLW   0x00                    ; Initial the counter
        MOVWF   ADDR_INDEX

LOOP_READ_DATA2
        MOVF    ADDR_INDEX,0   ; STARTING data ADDRESS
        CALL     TXPRT

        MOVWF   DATA_BUFFER             ; LOAD CHAR data TO W
        CALL    ADT

        INCF    ADDR_INDEX,1

        MOVF    ADDR_INDEX, 0
        SUBLW   DATA_NUM                ; 35 chars
        BTFSS   STATUS, Z
        GOTO    LOOP_READ_DATA2

        MOVLW   CMD_AWROFF
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD
…
```

For example, the above excerpt from the main loop in the program sends the characters defined in the TXPRT subroutine to be displayed in text mode on the graphical LCD.

The following sets the LCD to auto write mode:

```
MOVLW                   CMD_AWRON
MOVWF                   CMD_BUFFER
CALL                    CMD
```

At this point, the program starts counting, and executes through the loop LOOP_READ_DATA2 35 times. This loop calls TXPRT to retrieve the text data and load it into the W register. It then calls to the subroutine ADT, which calls SEND_DATA, which writes the values in the W register to port B, to be sent to the data lines of the LCD display. Once the data is sent, the proper value on port A of the microcontroller is sent to the control pins of the LCD display to let it know that the data is ready to be read. The

subroutines all return at the end to the instruction just after the call to them and the same thing happens until all 35 characters have been transmitted. The final three instructions in the excerpt turn off the auto write mode in the LCD display after exiting the loop:

```
MOVLW                   CMD_AWROFF
MOVWF                   CMD_BUFFER
CALL                    CMD
```

The next few instructions draw the horizontal and sloped lines in graphical mode:

```
;6 draw wave once
MOVF                    ADDR_L, 0
BTFSC                   STATUS, Z
CALL                    DRAW_WAVE
```

Advanced Features

This section provides a step-by-step walkthrough of the Multisim MCU module's debugging features. It is important to follow the steps exactly as scripted, otherwise, the descriptions will no longer apply. Once you understand the breakpoint and single stepping features you can explore the possibilities of advanced MCU debugging.

Debug View Overview

To write a program for a microcontroller either in C or assembly, you create source code files (`.asm`, `.inc`, `.c`, `.h`) as part of the MCU workspace, which can in turn be edited in the source code view.

To access the source code view:

1. Double-click on the file item (e.g., `main.asm`) shown in the MCU workspace hierarchy in the **Design Toolbox**.

During simulation, additional debugging information displays to help you understand what is happening inside the MCU. For example, you can switch between viewing events happening in the high level source and at the assembly instruction level which also displays the actual opcodes for each instruction that are being executed by the MCU.

The source code view is not capable of displaying all this extra information. Instead, each MCU component in the circuit design has its own **Debug View** that displays debugging information.

To access the **Debug View**:

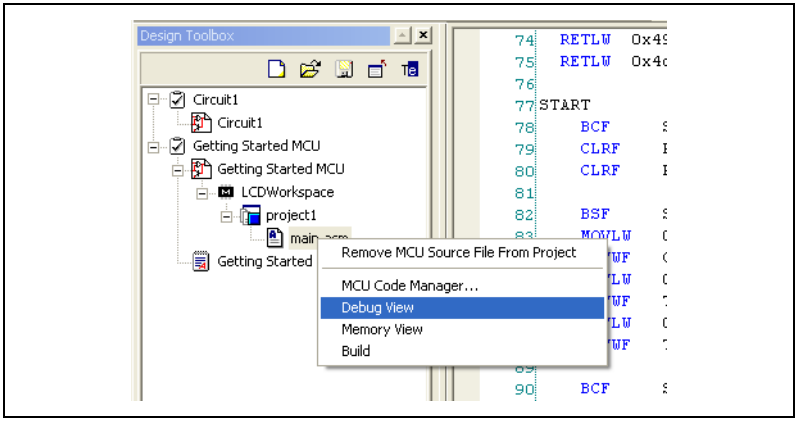
1. Select **MCU»MCU PIC 16F84A U1»Build**.

Note The **Debug View** is available only after you have successfully built your code, so the preceding step is only necessary once.

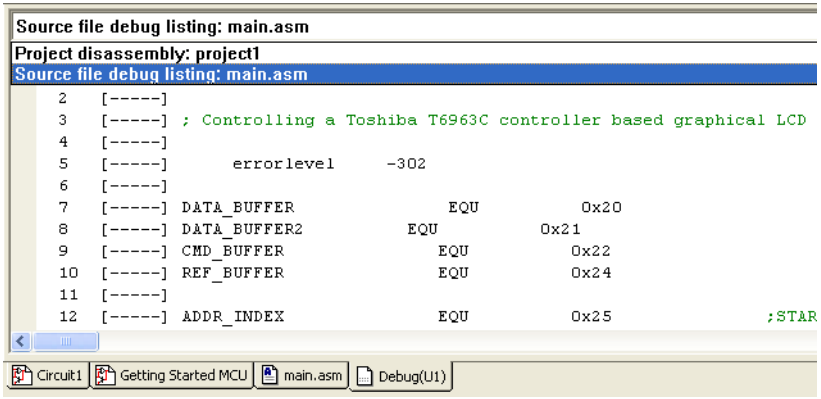
2. Select **MCU»MCU PIC 16F84A U1»Debug View**.

   Or

   Use the right-click context menu on an item in the MCU workspace of the **Design Toolbox**.



Another tab opens in the schematic capture workspace called **Debug(<reference designator of MCU>),** in this case **Debug(U1)**.



Use the drop-down list at the top of the **Debug View** to select between the disassembly instructions generated internally by Multisim or the listing file generated by the assembler or compiler (the format of the listing file is dependant on the tool that you choose to build your code).

In the LCD graphical display example, the code was written in assembly and built by the Microchip assembly tools. The Microchip assembler generates a listing file (`.lst`) that contains all of the opcodes generated for each assembly instruction. The debug listing view displays information from this listing file. Multisim generates the disassembly format using its internal disassembler to disassemble the opcode instructions into assembly instructions.

This format is not necessary for this example since the debug listing contains all of the information needed. In cases where an MCU project loads only the machine code (`.hex`) file, the disassembly view shows the disassembled opcode instructions so that you can see what's happening in the MCU. Since no listing file for MCU projects of this type is available, the disassembly view is very useful.

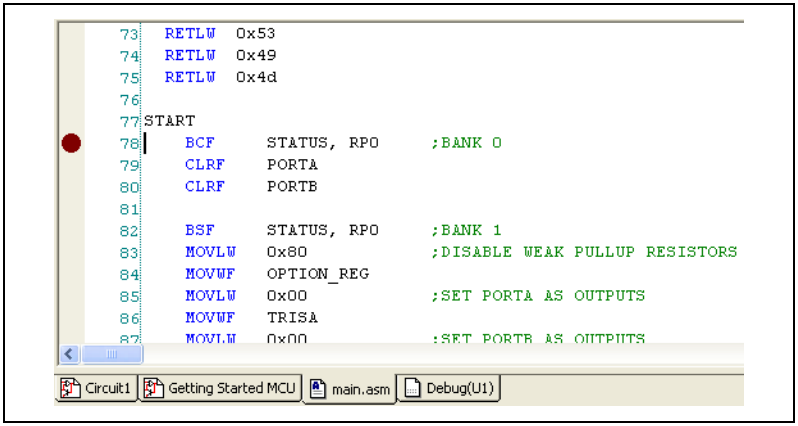
Adding a Breakpoint

You can add breakpoints in the source code view when simulation has stopped, as well as during simulation. You can add breakpoints to a microcontroller in two ways.

One way is to add them in the source code view. In this example, the `main.asm` tab in the schematic capture workspace is the only source code view available.

Note If your MCU design contains more than one file, there will be a surce code view for each of your source code files.

You can also set a breakpoint in the **Debug View** window. You can set breakpoints in the disassembly view or the debug listing view, but for this example, you will only use the debug listing view.



To add a breakpoint in the source code view:

1. Build the MCU workspace.
2. Open the **Debug View** for U1.
3. Double-click on `main.asm` in the **Design Toolbox**.
4. Scroll to the line just below the START label: `BCF STATUS, RP0`.
5. Double-click on the first (grey) column on the left side of the `main.asm` window next to the line `BCF STATUS, RP0`. A red circle appears at that location indicating that a breakpoint has been set at that line.
6. Select **Simulate»Run**. The simulation automatically pauses at the breakpoint that you have just set. The **Debug View** automatically jumps into focus with a yellow arrow showing where the MCU program execution is paused.

To remove the breakpoint:

1. Double-click on the breakpoint in the **Debug View** or the `main.asm` source code view.

   Or

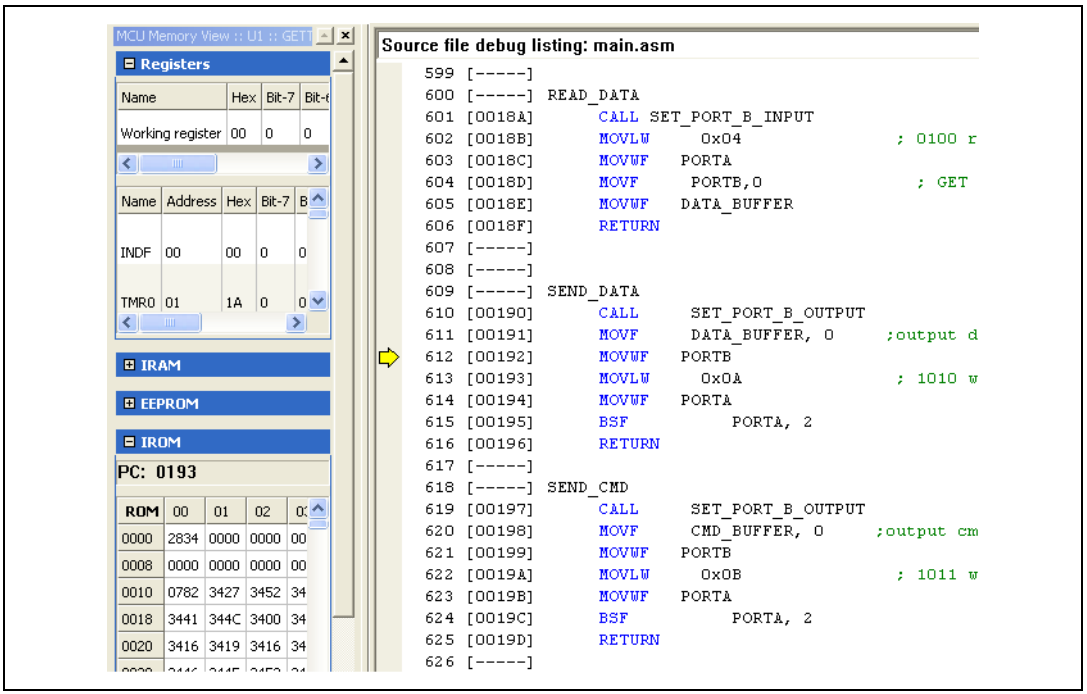
   Select **MCU»Remove all breakpoints** to remove all breakpoints.

Note You can add and remove breakpoints in the **Debug View** in the same manner as the source code view.

Break and Step

1. Select **MCU»Remove all breakpoints** to remove all breakpoints.
2. Go to the circuit design view (the **Getting Started MCU** tab) and select **Simulate»Run**. The words "Graphical LCD T6963CC for Multisim" start to display on the graphical LCD component.

3. Select **Simulate»Pause**.
4. Go to the **Debug View** for U1 and notice that the line of code in the debug listing view where the MCU has stopped its execution is indicated by a yellow arrow in the left-most column.


MCU Memory View :: U1 :: GETT
Registers
Name Hex Bit-7 Bit-
Working register 00 0 0
Name Address Hex Bit-7 B
INDF 00 00 0 0
TMR0 01 1A 0 0
IRAM
EEPROM
IROM
PC: 0193
ROM 00 01 02 0
0000 2834 0000 0000 00
0008 0000 0000 0000 00
0010 0782 3427 3452 34
0018 3441 344C 3400 34
0020 3416 3419 3416 34
Source file debug listing: main.asm
599 [-----]
600 [-----] READ_DATA
601 [0018A] CALL SET_PORT_B_INPUT
602 [0018B] MOVLW 0x04 ; 0100 r
603 [0018C] MOVWF PORTA
604 [0018D] MOVF PORTB,0 ; GET
605 [0018E] MOVWF DATA_BUFFER
606 [0018F] RETURN
607 [-----]
608 [-----]
609 [-----] SEND_DATA
610 [00190] CALL SET_PORT_B_OUTPUT
611 [00191] MOVF DATA_BUFFER, 0 ;output d
612 [00192] MOVWF PORTB
613 [00193] MOVLW 0x0A ; 1010 w
614 [00194] MOVWF PORTA
615 [00195] BSF PORTA, 2
616 [00196] RETURN
617 [-----]
618 [-----] SEND_CMD
619 [00197] CALL SET_PORT_B_OUTPUT
620 [00198] MOVF CMD_BUFFER, 0 ;output cm
621 [00199] MOVWF PORTB
622 [0019A] MOVLW 0x0B ; 1011 w
623 [0019B] MOVWF PORTA
624 [0019C] BSF PORTA, 2
625 [0019D] RETURN
626 [-----]

5. Select **MCU»MCU PIC16F84A U1»Memory View** to view the current state of the memory inside the microcontroller U1. Notice that the value of the program counter PC in the **IROM** section is one higher than the address value of the line the yellow arrow is pointing to. (In the above figure, the address in the **Debug View** is 192 and the PC value in the **Memory View** is 193.)

Note If the MCU has not finished executing the current command when you pause the simulation, the value in the program counter will be the same as the address value.

You can also look at the other sections of the **Memory View** to see the values inside the other parts of memory in the microcontroller.

6. Click the **Step into** button in the **Simulation** tool bar.
7. The current instruction is executed and the simulation pauses at the next instruction.

8. Select **Simulate»Stop**.

Break and Step Out

1. Place a breakpoint in the `SEND_DATA` subroutine at `MOVWF PORTB`.

2. Select **Simulate»Run**. The simulation pauses at the breakpoint.

3. Click the **Step out** button in the **Simulation** toolbar to step out of the `SEND_DATA` subroutine.
4. The simulation executes all of the remaining instructions in the `SEND_DATA` subroutine and pauses at the first instruction after the call to the `SEND_DATA` subroutine.

Break and Step Into

1. Select **MCU»Remove all breakpoints**.
2. Place a breakpoint at the call to `SEND_DATA` where you had just stepped out of just above the yellow arrow.

3. Select **Simulate»Run**. The simulation pauses at breakpoint that you just placed.

4. Click the **Step Into** button on the **Simulation** toolbar. The simulation pauses inside the `SEND_DATA` subroutine.

Break and Step Over

1. Select **Simulate»Run**. The simulation pauses at the same breakpoint that you set previously at the call to the subroutine `SEND_DATA`.

2. Click the **Step Over** button on the **Simulation** toolbar. The entire `SEND_DATA` subroutine is executed and the simulation pauses at the instruction after the `CALL SEND_DATA` instruction.

Run to Cursor

1. Select **MCU»Remove all breakpoints**.
2. Click on a line inside the `SEND_DATA` subroutine since we know that this subroutine will be called again to send data to the LCD display.

3. Click the **Run to Cursor** button in the **Simulation** toolbar. The simulation runs until the MCU hits the instruction that you clicked on inside the `SEND_DATA` subroutine. It then pauses and places the yellow arrow next to that line.

A

Technical Support and Professional Services

Visit the following sections of the National Instruments Web site at ni.com for technical support and professional services:

- **Support**—Online technical support resources at ni.com/support include the following:
  - **Self-Help Resources**—For answers and solutions, visit the award-winning National Instruments Web site for software drivers and updates, a searchable KnowledgeBase, product manuals, step-by-step troubleshooting wizards, thousands of example programs, tutorials, application notes, instrument drivers, and so on.
  - **Free Technical Support**—All registered users receive free Basic Service, which includes access to hundreds of Application Engineers worldwide in the NI Discussion Forums at ni.com/forums. National Instruments Application Engineers make sure every question receives an answer.

    For information about other technical support options in your area, visit ni.com/services or contact your local office at ni.com/contact.
- **Training and Certification**—Visit ni.com/training for self-paced training, eLearning virtual classrooms, interactive CDs, and Certification program information. You also can register for instructor-led, hands-on courses at locations around the world.
- **System Integration**—If you have time constraints, limited in-house technical resources, or other project challenges, National Instruments Alliance Partner members can help. To learn more, call your local NI office or visit ni.com/alliance.

If you searched ni.com and could not find the answers you need, contact your local office or NI corporate headquarters. Phone numbers for our worldwide offices are listed at the front of this manual. You also can visit the Worldwide Offices section of ni.com/niglobal to access the branch office Web sites, which provide up-to-date contact information, support phone numbers, email addresses, and current events.

Index

Numerics

3D designs in Ultiboard, 3-20

A

advanced MCU debugging, 4-7
analysis, 2-11
assembly program, 4-4
autoplacement, 3-16
autorouting, 3-17

B

bill of materials, 2-13
board clean-up, 3-19
board outline, 3-3
BOM, 2-13
break and step, 4-11
break and step into, 4-12
break and step out, 4-12
break and step over, 4-12
breakpoint, 4-9

C

comments, 3-19
connection machine trace, 3-15
conventions used in the manual, *v*

D

diagnostic tools (NI resources), A-1
documentation
    conventions used in the manual, *v*
    NI resources, A-1
dragging components, 3-6, 3-7
drivers (NI resources), A-1

E

examples (NI resources), A-1
exporting files from Ultiboard, 3-20

F

follow-me trace, 3-14

G

grapher, 2-12

H

help, technical support, A-1

I

instrument drivers (NI resources), A-1

K

KnowledgeBase, A-1

M

manual trace, 3-12
manufacturing/assembly, 3-19
MCU debugging overview, 4-7
MCU tutorial, 4-2
MCU tutorial overview, 4-1
moving components in Ultiboard, 3-10
Multisim tutorial overview, 2-1

N

National Instruments support and services, A-1

O

opening Multisim files, 2-3
opening Ultiboard tutorial, 3-2

P

placing components in Multisim, 2-3
placing components in Ultiboard, 3-5, 3-7
placing traces in Ultiboard, 3-11
placing Ultiboard dB parts, 3-8
postprocessor, 2-12
products, 1-1
programming examples (NI resources), A-1

R

reports, 2-13
run to cursor, 4-12

S

saving Multisim files, 2-3
schematic capture, 2-2
simulation, 2-9
software (NI resources), A-1
support, technical, A-1

T

technical support, A-1
training and certification (NI resources), A-1
troubleshooting (NI resources), A-1
tutorial descriptions, 1-2
two-pinned passives
    dropping directly onto a wire, 2-7

V

virtual instruments, 2-9

W

Web resources, A-1
wiring components in Multisim, 2-7

NI Circuit Design Suite

Erste Schritte mit NI Circuit Design Suite

Juni 2007
374482B-0113

NATIONAL INSTRUMENTS™
ELECTRONICS WORKBENCH GROUP

Deutschsprachige Niederlassungen

National Instruments
Germany GmbH
Konrad-Celtis-Straße 79
81369 München
Tel.: +49 89 7413130
Fax: +49 89 7146035

National Instruments
Ges.m.b.H.
Plainbachstraße 12
5101 Salzburg-Bergheim
Tel.: +43 662 457990-0
Fax: +43 662 457990-19

National Instruments
Switzerland
Sonnenbergstraße 53
CH-5408 Ennetbaden
Tel.: +41 56 2005151, +41 21 3205151 (Lausanne)
Fax: +41 56 2005155

Lokaler technischer Support

Deutschland:	`ni.germany@ni.com`	`www.ni.com/germany`
Österreich:	`ni.austria@ni.com`	`www.ni.com/austria`
Schweiz:	`ni.switzerland@ni.com`	`www.ni.com/switzerland`

Technischer Support und Produktinformation weltweit

`ni.com`

National Instruments Corporate Firmenhauptsitz

11500 North Mopac Expressway Austin, Texas 78759-3504 USA Tel: 001 512 683 0100

Internationale Niederlassungen

Australien 1800 300 800, Belgien 32 (0) 2 757 0020, Brasilien 55 11 3262 3599, China 86 21 5050 9800, Dänemark 45 45 76 26 00, Finnland 385 (0) 9 725 72511, Frankreich 01 57 66 24 24, Großbritannien 44 0 1635 523545, Indien 91 80 41190000, Israel 972 3 6393737, Italien 39 02 413091, Japan 81 3 5472 2970, Kanada 800 433 3488, Korea 82 02 3451 3400, Libanon 961 (0) 1 33 28 28, Malaysia 1800 887710, Mexiko 01 800 010 0793, Neuseeland 0800 553 322, Niederlande 31 (0) 348 433 466, Norwegen 47 (0) 66 90 76 60, Polen 48 223 390150, Portugal 351 210 311 210, Russland 7 495 783 6851, Schweden 46 (0) 8 587 895 00, Singapur 1800 226 5886, Slowenien 386 3 425 42 00, Spanien 34 91 640 0085, Südafrika 27 0 11 805 8197, Taiwan 886 02 2377 2222, Thailand 662 278 6777, Tschechische Republik 420 224 235 774, Türkei 90 212 279 3031

Weitere Informationen finden Sie im Anhang unter *Technische Unterstützung und professioneller Service*. Für Kommentare und Anregungen zu unserer Dokumentation geben Sie bitte auf unserer Website `ni.com/info` den Infocode `feedback` ein.

© 2006–2007 National Instruments Corporation. Alle Rechte vorbehalten.

Wichtige Informationen

Garantie

National Instruments gewährleistet, dass BEZEICHNUNG DES PRODUKTES für einen Zeitraum von Zeit ab Lieferung, nachgewiesen durch Empfangsbestätigung oder sonstige Unterlagen, frei von Material- und Verarbeitungsfehlern ist. Gegenstände, von denen sich während der Garantiezeit herausstellt, dass sie fehlerhaft sind, werden nach Wahl von National Instruments entweder repariert oder ersetzt. Die Garantie umfasst Ersatzteile und Arbeitsleistung.

National Instruments gewährleistet, dass die Datenträger, auf denen National Instruments Software übermittelt wird, während eines Zeitraums von 90 Tagen ab Lieferung, nachgewiesen durch Empfangsbestätigung oder sonstige Unterlagen, nicht aufgrund von Material- und Verarbeitungsfehlern Programmanweisungen nicht ausführen. Datenträger, die Programmanweisungen nicht ausführen, werden nach Wahl von National Instruments entweder repariert oder ersetzt, sofern National Instruments während der Garantiezeit über derartige Mängel informiert wird.

Damit Gegenstände zur Ausführung von Garantieleistungen angenommen werden, müssen Sie sich eine Warenrücksendenummer (RMA-Nummer) vom Hersteller geben lassen und diese auf der Packung deutlich sichtbar angeben. Die Kosten der Rücksendung von Ersatzteilen, die von der Garantie erfasst sind, an Sie übernimmt National Instruments.

National Instruments geht davon aus, dass die Informationen in dieser Unterlage zutreffend sind. Die Unterlage ist sorgfältig auf technische Richtigkeit überprüft worden. Für den Fall, dass dennoch technische oder Schreibfehler vorhanden sein sollten, behält sich National Instruments das Recht vor, dies in späteren Ausgaben ohne vorherige Ankündigung zu berichtigen. Bitte wenden Sie sich an National Instruments, falls Sie einen Fehler vermuten. National Instruments haftet in keinem Fall für Schäden, die sich aus oder im Zusammenhang mit dieser Unterlage oder den darin enthaltenen Informationen ergeben.

SOWEIT HIER NICHT AUSDRÜCKLICH VORGESEHEN, SCHLIESST NATIONAL INSTRUMENTS JEDE GEWÄHRLEISTUNG, SEI SIE AUSDRÜCKLICH ODER STILLSCHWEIGEND, AUS. DIESER AUSSCHLUSS GILT INSBESONDERE FÜR EINE ETWAIGE KONKLUDENTE GEWÄHRLEISTUNG, DASS DIE PRODUKTE VON DURCHSCHNITTLICHER QUALITÄT UND FÜR DEN NORMALEN GEBRAUCH ODER FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK GEEIGNET SIND. EINE SCHADENERSATZPFLICHT FÜR SCHULDHAFTES VERHALTEN SEITENS NATIONAL INSTRUMENTS IST AUF DEN VOM KUNDEN GEZAHLTEN KAUFPREIS BEGRENZT. NATIONAL INSTRUMENTS HAFTET NICHT FÜR SCHÄDEN, DIE SICH AUS DEM VERLUST VON DATEN, ENTGANGENEM GEWINN ODER NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN ERGEBEN UND AUCH NICHT FÜR ZUFÄLLIGE ODER FOLGESCHÄDEN, SELBST WENN NATIONAL INSTRUMENTS AUF DIE MÖGLICHKEIT SOLCHER SCHÄDEN HINGEWIESEN WURDE. Diese Haftungsbegrenzung gilt unabhängig vom Rechtsgrund der Haftung. Ansprüche gegenüber National Instruments müssen innerhalb eines Jahres nach Schadenseintritt gerichtlich geltend gemacht werden. Die Firma National Instruments haftet nicht für Verspätungsschäden, die nicht in ihrem Verantwortungsbereich liegen. Diese Garantie erstreckt sich nicht auf Schäden, Fehler, Fehlfunktionen oder Servicemängel, die auf der Nichtbefolgung von Anweisungen von National Instruments für die Installation, den Betrieb oder die Wartung, auf Veränderungen des Produktes, Missbrauch oder Fehlgebrauch des Produktes, auf einer Unterbrechung der Energieversorgung, Feuer, Wasserschäden, Unfälle, Handlungen Dritter oder anderen Geschehnissen, die nicht im Verantwortungsbereich von National Instruments liegen, beruhen.

Urheberrechte

Gemäß den Bestimmungen des Urheberrechts darf diese Publikation ohne vorherige schriftliche Zustimmung der Firma National Instruments Corporation weder vollständig noch teilweise vervielfältigt oder verbreitet werden, gleich in welcher Form, ob elektronisch oder mechanisch. Das Verbot erfasst u.a. das Fotokopieren, das Aufzeichnen, das Speichern von Informationen in Retrieval Systemen sowie das Anfertigen von Übersetzungen gleich welcher Art.

National Instruments achtet das geistige Eigentum anderer und fordert seine Nutzer auf, dies ebenso zu tun. Die Software von National Instruments ist urheberrechtlich und durch andere Rechtsvorschriften zum Schutz geistigen Eigentums geschützt. Wenn Sie NI Software nutzen, um Software oder andere Materialien, die im Eigentum Dritter stehen, zu vervielfältigen, dürfen Sie NI Software nur insoweit nutzen, als Sie die betreffenden Materialien nach den jeweils anwendbaren Lizenzbestimmungen oder Rechtsvorschriften vervielfältigen dürfen.

BSIM3 and BSIM4 are developed by the Device Research Group of the Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley and copyrighted by the University of California.

The ASM51 cross assembler bundled with Multisim MCU is a copyrighted product of MetaLink Corp. (`www.metaice.com`).

MPASM™ macro assembler and related documentation and literature is reproduced and distributed by Electronics Workbench under license from Microchip Technology Inc. All rights reserved by Microchip Technology Inc. MICROCHIP SOFTWARE OR FIRMWARE AND LITERATURE IS PROVIDED "AS IS," WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL MICROCHIP BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR FIRMWARE OR THE USE OF OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE OR FIRMWARE.

Marken

National Instruments, NI, ni.com und LabVIEW sind Marken der Firma National Instruments Corporation. Nähere Informationen zu den Marken von National Instruments finden Sie im Abschnitt *Terms of Use* unter `ni.com/legal`.

Sonstige hierin erwähnte Produkt- und Firmenbezeichnungen sind Marken oder Handelsnamen der jeweiligen Unternehmen.

Mitglieder des National Instruments Alliance Partner Programms sind eigenständige und von National Instruments unabhängige Unternehmen; zwischen ihnen und National Instruments besteht keine gesellschaftsrechtliche Verbindung und auch kein Auftragsverhältnis.

Patente

Nähere Informationen über Patente auf Produkte von National Instruments finden Sie unter **Hilfe»Patente** in Ihrer Software, in der Datei `patents.txt` auf Ihrer CD oder unter `ni.com/patents`.

WARNUNG ZUR NUTZUNG VON NATIONAL INSTRUMENTS PRODUKTEN

(1) DIE SOFTWAREPRODUKTE VON NATIONAL INSTRUMENTS WURDEN NICHT MIT KOMPONENTEN UND TESTS FÜR EIN SICHERHEITSNIVEAU ENTWICKELT, DAS FÜR EINE VERWENDUNG BEI ODER IN ZUSAMMENHANG MIT CHIRURGISCHEN IMPLANTATEN ODER ALS KRITISCHE KOMPONENTEN VON LEBENSERHALTENDEN SYSTEMEN GEEIGNET IST, DEREN FEHLFUNKTION BEI VERNÜNFTIGER BETRACHTUNGSWEISE ZU ERHEBLICHEN VERLETZUNGEN VON MENSCHEN FÜHREN KANN.

(2) BEI JEDER ANWENDUNG, EINSCHLIESSLICH DER OBEN GENANNTEN, KANN DIE ZUVERLÄSSIGKEIT DER FUNKTION DER SOFTWAREPRODUKTE DURCH ENTGEGENWIRKENDE FAKTOREN, EINSCHLIESSLICH Z.B. SPANNUNGSUNTERSCHIEDEN BEI DER STROMVERSORGUNG, FEHLFUNKTIONEN DER COMPUTER-HARDWARE, FEHLENDER EIGNUNG DER SOFTWARE FÜR DAS COMPUTER-BETRIEBSSYSTEM, FEHLENDER EIGNUNG VON ÜBERSETZUNGS- UND ENTWICKLUNGSSOFTWARE, DIE ZUR ENTWICKLUNG EINER ANWENDUNG EINGESETZT WERDEN, INSTALLATIONSFEHLERN, PROBLEMEN BEI DER SOFTWARE- UND HARDWAREKOMPATIBILITÄT, FUNKTIONSSTÖRUNGEN ODER AUSFALL DER ELEKTRONISCHEN ÜBERWACHUNGS- ODER KONTROLLGERÄTE, VORÜBERGEHENDEN FEHLERN DER ELEKTRONISCHEN SYSTEME (HARDWARE UND/ODER SOFTWARE), UNVORHERGESEHENEN EINSATZES ODER MISSBRAUCHS ODER FEHLERN DES ANWENDERS ODER DES ANWENDUNGSENTWICKLERS (ENTGEGENWIRKENDE FAKTOREN WIE DIESE WERDEN NACHSTEHEND ZUSAMMENFASSEND “SYSTEMFEHLER” GENANNT) BEEINTRÄCHTIGT WERDEN. JEDE ANWENDUNG, BEI DER EIN SYSTEMFEHLER EIN RISIKO FÜR SACHWERTE ODER PERSONEN DARSTELLT (EINSCHLIESSLICH DER GEFAHR KÖRPERLICHER SCHÄDEN UND TOD), SOLLTE AUFGRUND DER GEFAHR VON SYSTEMFEHLERN NICHT LEDIGLICH AUF EINE FORM VON ELEKTRONISCHEM SYSTEM GESTÜTZT WERDEN. UM SCHÄDEN UND, U.U. TÖDLICHE, VERLETZUNGEN ZU VERMEIDEN, SOLLTE DER NUTZER ODER ANWENDUNGSENTWICKLER ANGEMESSENE SICHERHEITSMASSNAHMEN ERGREIFEN, UM SYSTEMFEHLERN VORZUBEUGEN. HIERZU GEHÖREN UNTER ANDEREM SICHERUNGS- ODER ABSCHALTMECHANISMEN. DA JEDES ENDNUTZERSYSTEM DEN KUNDENBEDÜRFNISSEN ANGEPASST IST UND SICH VON DEM TESTUMFELD UNTERSCHEIDET, UND DA EIN NUTZER ODER ANWENDUNGSENTWICKLER SOFTWAREPRODUKTE VON NATIONAL INSTRUMENTS IN VERBINDUNG MIT ANDEREN PRODUKTEN IN EINER VON NATIONAL INSTRUMENTS NICHT GETESTETEN ODER VORHERGESEHENEN FORM EINSETZEN KANN, TRÄGT DER NUTZER BZW. DER ANWENDUNGSENTWICKLER DIE LETZTENDLICHE VERANTWORTUNG FÜR DIE ÜBERPRÜFUNG UND AUSWERTUNG DER EIGNUNG VON NATIONAL INSTRUMENTS PRODUKTEN, WENN PRODUKTE VON NATIONAL INSTRUMENTS IN EIN SYSTEM ODER EINE ANWENDUNG INTEGRIERT WERDEN. DIES ERFORDERT U.A. DIE ENTSPRECHENDE ENTWICKLUNG UND VERWENDUNG SOWIE EINHALTUNG EINER ENTSPRECHENDEN SICHERHEITSSTUFE BEI EINEM SOLCHEN SYSTEM ODER EINER SOLCHEN ANWENDUNG.

Symbole und Darstellungen

In diesem Handbuch werden die folgenden Symbole und Darstellungen verwendet:

» Das Symbol **»** kennzeichnet die Reihenfolge, in der Sie Menüpunkte und Dialogfeldoptionen anzuklicken sind. So wird zum Beispiel mit der Abfolge **Datei»Seite einrichten»Optionen** angezeigt, dass zunächst das Menü **Datei** zu öffnen ist, hieraus die Option **Seiteneinstellungen** und daraus der Befehl **Optionen** auszuwählen ist.

Dieses Symbol steht für Ratschläge.

Dieses Zeichen steht für einen Hinweis auf wichtige Informationen.

fett In fettgedruckter Schrift sind Elemente dargestellt, die ausgewählt oder angeklickt werden müssen, wie Menüpunkte oder Optionen in Dialogfeldern. Parameternamen sind ebenfalls fettgedruckt.

kursiv Variablen, Hervorhebungen, Querverweise und erstmals genannte Fachausdrücke sind durch Kursivschrift gekennzeichnet. Ebenfalls kursiv sind Textstellen gedruckt, an denen Wörter bzw. Werte einzusetzen sind.

`monospace` In Monospace-Schrift (nicht proportionaler Schrift) sind Programmauszüge, Syntaxbeispiele und Zeichen, die über die Tastatur einzugeben sind, dargestellt. Diese Darstellungsweise wird ebenfalls für Laufwerke, Pfade, Verzeichnisse, Programme, Unterprogramme, Subroutinen, Gerätenamen, Funktionen, Operationen, Variablen sowie Dateinamen und -erweiterungen verwendet.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1
Einführung in NI Circuit Design Suite

NI Circuit Design Suite Produktlinie 1-1
Lerneinheiten (Tutorial) 1-2

Kapitel 2
Multisim Tutorium

Überblick 2-2
Schaltungsentwicklung 2-3
- Öffnen und Speichern der Datei 2-3
- Einfügen der Bauelemente 2-4
- Verbinden der Bauteile 2-8

Simulation 2-11
- Virtuelle Messinstrumente 2-11
- Analyse 2-13
- Die Graphanzeige 2-14
- Der Postprozessor 2-15

Berichte 2-15
- Stückliste 2-15

Kapitel 3
Ultiboard-Tutorium

Öffnen des Tutorials 3-2
Erzeugen eines Leiterplattenumrisses 3-3
Platzieren von Bauelementen 3-6
- Ziehen von Bauelemente aus dem Bereich außerhalb des Leiterplattenumrisses 3-7
- Ziehen von Bauelementen von der Bauteile-Registerkarte 3-9
- Einfügen der Tutorial-Bauelemente 3-9
- Platzieren von Bauteilen aus der Datenbank 3-10
- Verschieben von Bauelementen 3-12

Platzieren von Leiterbahnen 3-13
- Manuelles Platzieren einer Leiterbahn 3-14
- Platzieren einer Follow-me-Leiterbahn 3-17
- Platzieren einer Connection-Machine-Leiterbahn 3-18

Automatische Bauteilplatzierung 3-19
Automatische Leiterbahnführung 3-20
Weitere Funktionen 3-21

Vorbereitung für Herstellung und Bestückung 3-22
Aufräumen der Leiterplatte (Clean-Up) 3-22
Hinzufügen von Kommentaren 3-23
Export einer Datei 3-23
3D-Ansicht von Entwürfen 3-24

Kapitel 4
Multisim MCU Modul-Tutorial

Überblick 4-1
Über das Tutorial 4-2
Die Funktion des Assembly-Programms 4-4
Zusätzliche Funktionen 4-7
Fehlersuche-Übersicht 4-7
Hinzufügen eines Haltepunktes 4-10
Unterbrechen und in/aus Funktion hinein-/heraus springen 4-11
Unterbrechen und aus Funktion heraus springen 4-13
Unterbrechen und in Funktion hineinspringen 4-13
Unterbrechen und Funktionsaufruf überspringen 4-13
Zum Cursor 4-14

Anhang A
Technische Unterstützung und professioneller Service

Stichwortverzeichnis

1

Einführung in NI Circuit Design Suite

Einige der in diesem Handbuch beschriebenen Funktionen sind möglicherweise nicht in Ihrer Version von NI Circuit Design Suite verfügbar. Einzelheiten zum Funktionsumfang Ihrer Ausgabe finden Sie in den Versionshinweisen.

In diesem Kapitel werden folgende Themen besprochen:

Thema	Seite
NI Circuit Design Suite Produktlinie	1-1
Lerneinheiten (Tutorial)	1-2

NI Circuit Design Suite Produktlinie

Bei National Instruments Circuit Design Suite handelt es sich um eine EDA-Reihe (Electronics Design Automation), mit deren Hilfe Sie die wichtigsten Schritte zur Planung und Erstellung von Schaltungen problemlos nachvollziehen können.

Multisim ist ein Programm zur Erfassung von Schaltplänen und Simulation. Es eignet sich zur Schaltplaneingabe, zum Durchführen von Simulationen und zur Weitergabe der Daten an den nächsten Arbeitsgang, zum Beispiel die Leiterplattenentflechtung. *Multisim* verfügt außerdem über die Fähigkeit zur analogen/digitalen Simulation.

Das *Multisim MCU-Modul* hat zusätzlich die Funktion Mikrocontroller-Co-Simulation.

Ultiboard erzeugt anhand der Daten von Multisim gedruckte Schaltungen, führt einfache mechanische CAD-Operationen durch (z. B. Platzierung der Bauteile auf den Leiterplatten) und bereitet die Leiterplatten für die Produktion vor. Ultiboard sorgt außerdem für die automatische Bauteilplatzierung und das Layout.

Lerneinheiten (Tutorial)

Dieses Handbuch enthält folgende Schritt-für-Schritt-Tutorials:

- *Multisim Tutorium* — stellt Ihnen Multisim und die vielen Funktionen vor.
- *Ultiboard-Tutorium* — zeigt Ihnen, wie Sie die Bauelemente und Leiterbahnen für die im Multisim-Tutorial-Kapitel beschriebenen Schaltungen richtig platzieren. Außerdem erfahren Sie etwas über das automatische Platzieren von Bauteilen und die automatische Leiterbahnführung.
- *Multisim MCU Modul-Tutorial* — führt Sie durch den Vorgang der Simulation und Fehlersuche einer Schaltung mit Mikrocontroller.

Weitere Informationen zu den in diesem Kapitel beschriebenen Funktionen befinden sich im *Multisim Benutzerhandbuch*, dem *Ultiboard Benutzerhandbuch* oder dem *Multisim MCU-Modul Benutzerhandbuch*.

2

Multisim Tutorium

Dieses Kapitel enthält ein Tutorium, das Ihnen Multisim und seine vielfältigen Möglichkeiten vorstellt.

Einige der hier beschriebenen Funktionen sind möglicherweise in Ihrer Ausgabe von Multisim nicht enthalten. Einzelheiten zum Funktionsumfang Ihrer Ausgabe finden Sie in den Versionshinweisen.

In diesem Kapitel werden folgende Themen besprochen:

Thema	Seite
Überblick	2-2
Schaltungsentwicklung	2-3
Öffnen und Speichern der Datei	2-3
Einfügen der Bauelemente	2-4
Verbinden der Bauteile	2-8
Simulation	2-11
Virtuelle Messinstrumente	2-11
Analyse	2-13
Die Graphanzeige	2-14
Der Postprozessor	2-15
Berichte	2-15
Stückliste	2-15

Überblick

Dieses Dokument beleuchtet alle Aspekte der Erstellung einer technischen Schaltung vom Entwurf eines Schaltplans, über die Simulation der Schaltung, bis hin zur Analyse der Ergebnisse. Nach dem Abarbeiten der beschriebenen Schritte erstellen Sie eine Schaltung, mit der ein analoges Kleinsignal erfasst und verstärkt wird und dessen Auftreten mit einem einfachen digitalen Zähler ermittelt wird.

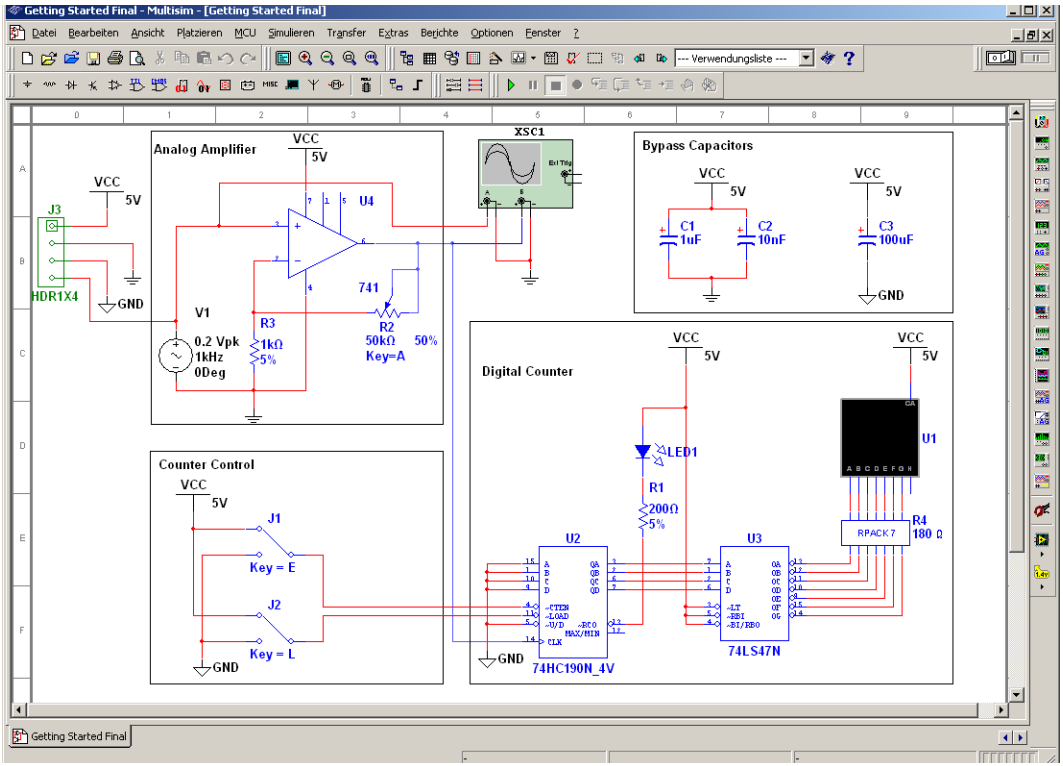
Nützliche Tipps sind links durch ein Symbol gekennzeichnet, z. B.:

Tipp Sie können jederzeit die Hilfe aufrufen, indem Sie auf der Tastatur F1 drücken oder in einem Dialogfeld die Schaltfläche **Hilfe** anklicken.

Wenn Sie den Abschnitt zum Verbinden der Bauelemente erreicht haben, können Sie entweder an der Schaltung weiterarbeiten, die Sie bis dahin erstellt haben, oder mit der Datei `Erste Schritte 1.ms10` fortfahren. Darin sind alle Bauelemente bereits ordnungsgemäß angeordnet. Die Datei befindet sich im Unterordner `Erste Schritte` des Ordners `Beispiele`. Nach Erreichen des Abschnitts zur Simulation können Sie entweder an der vorhandenen Schaltung weiterarbeiten oder die Datei `Erste Schritte 2.ms10` verwenden, in der alle Bauteile bereits richtig verbunden sind.

Schaltungsentwicklung

In diesem Abschnitt platzieren Sie die Bauelemente in der unten abgebildeten Schaltung und verbinden sie miteinander.



Öffnen und Speichern der Datei

Multisim starten:

1. Wählen Sie **Start»Programme»National Instruments»Circuit Design Suite 10.0»Multisim**. Es öffnet sich eine leere Datei im Arbeitsbereich namens “Schaltung1”.

Zum Speichern der Datei unter einem anderen Namen:

1. Wählen Sie **Datei»Speichern unter**. Es öffnet sich das Windows-Dialogfeld zum Speichern von Dateien.
2. Wählen Sie einen Speicherort für die Datei aus. Geben Sie anschließend als Dateinamen `MeineErstenSchritte` ein und klicken Sie auf die Schaltfläche **Speichern**.

Tipp Um versehentlichem Datenverlust vorzubeugen, sollten Sie über die Registerkarte **Speichern** des Dialogfelds **Voreinstellungen** regelmäßig Sicherheitskopien erstellen lassen.

Zum Öffnen einer vorhandenen Datei:

1. Wählen Sie **Datei»Datei öffnen**, wählen Sie eine Datei aus und klikken Sie auf die Schaltfläche **Öffnen**.

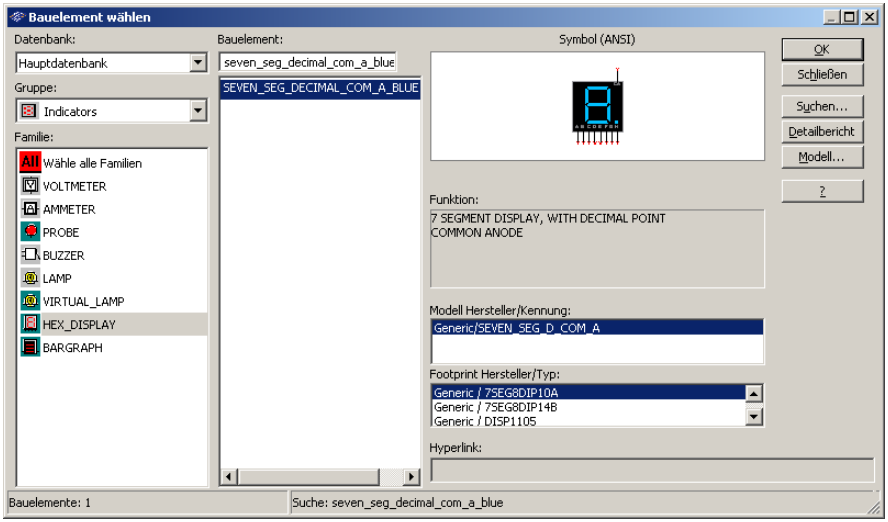
Tipp Zum Öffnen von Dateien aus älteren Multisim-Versionen wählen Sie im Dialogfeld **Datei öffnen** unter **Dateityp** die entsprechende Version aus.

Einfügen der Bauelemente

Zum Platzieren von Bauelementen ist wie folgt vorzugehen:

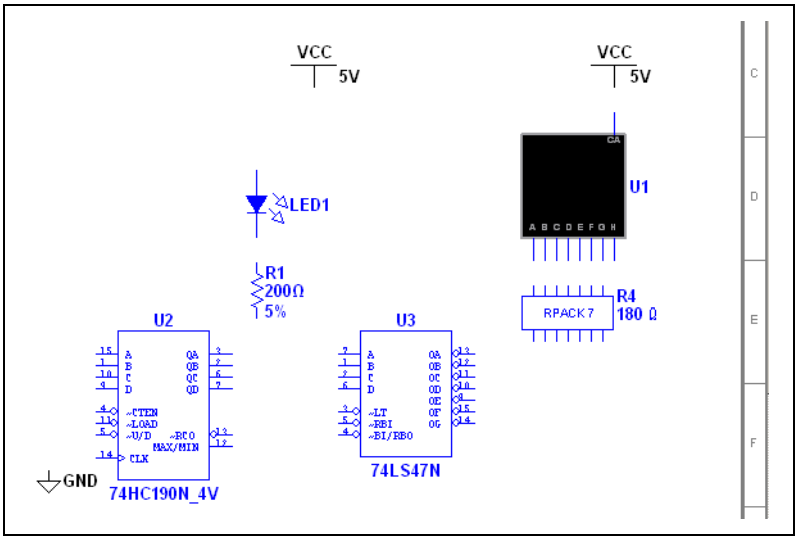
1. Öffnen Sie `MeineErstenSchritte.ms10` wie oben beschrieben.
2. Klicken Sie auf **Platzieren»Bauelement**, um zum Fenster **Bauelement wählen** zu gelangen. Wählen Sie die in der Abbildung dargestellte 7-Segment-LED-Anzeige aus und klicken Sie auf **OK**. Das Bauelement erscheint daraufhin umrisshaft unter dem Cursor.

Tipp Nach Auswahl der **Gruppe** und **Familie** des Bauelements können Sie den Namen in das **Bauelement**-Feld des Dialogfensters eingeben. Ihre Eingabe wird im Feld **Suche** am unteren Rand des Fensters angezeigt. Geben Sie für das obige Beispiel "`seven_seg_decimal_com_a_blue`" ein. Übereinstimmungen werden bereits bei der Eingabe angezeigt.



3. Bewegen Sie den Cursor in die rechte untere Ecke der Arbeitsfläche und klicken Sie mit der linken Maustaste, um das Bauelement einzufügen. Die Kennung für dieses Bauelement lautet "U1".

4. Fügen Sie die restlichen Bauelemente wie dargestellt in den Bereich für den Zähler ein.



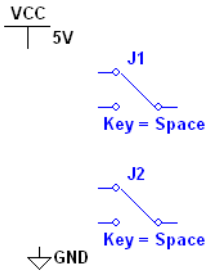
Hinweis Beim Einfügen von Widerständen, Induktoren oder Kondensatoren (RLC-Bauelemente) weist das Dialogfenster **Bauelement wählen** leicht unterschiedliche Felder auf als bei anderen Bauelementen. Beim Einfügen dieser Bauelemente können Sie jede denkbare Kombination aus folgender Auswahl wählen: Wert des Bauelements (z.B. Widerstandswert); Typ (z.B. Karbonfilm); Toleranz, Footprint und Hersteller. Beim Platzieren eines Bauelements, welches schließlich für den PCB-Layout-Export bestimmt ist und Teil der **Stückliste** wird, müssen Sie darauf achten, dass die Kombination von Werten, die Sie im Dialogfeld **Bauelement wählen** auswählen, auch in der Wirklichkeit im Bauelement verfügbar ist.

Tipp Beim Platzieren von RLC-Bauelementen ist der Wert des Bauteils ganz oben in die Liste der **Bauelemente** einzutragen. Der Wert muss aber nicht in der Liste enthalten sein, damit das Bauteil in die Schaltung eingefügt werden kann.

Tipp Um den 200-Ohm-Widerstand senkrecht anzuordnen, drücken Sie beim Einfügen des Widerstands die Tastenkombination <Strg-R>.

Tipp Die Bauelemente werden in der Reihenfolge mit Referenzbezeichnern versehen, in der sie eingefügt werden (z. B. U1, U2, U3). Wenn Sie also die Bauelemente in einer anderen Reihenfolge als in der Abbildung einfügen, ändert sich auch die Nummerierung entsprechend. Dies hat jedoch keinerlei Einfluss auf die Funktion der Schaltung.

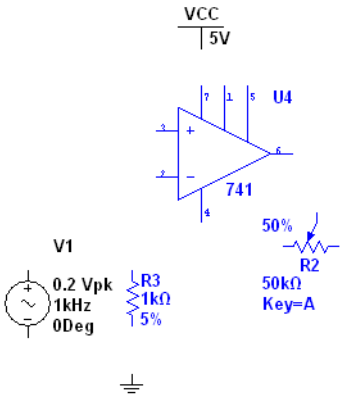
5. Fügen Sie die Bauelemente für die Steuerung des Zählers ein. Klicken Sie nach dem Einfügen mit der rechten Maustaste auf jeden SPDT-Schalter und wählen Sie **Horizontal kippen**.



Die SPDT-Schalter befinden sich in der Gruppe “Basic” und der Familie “Switch”

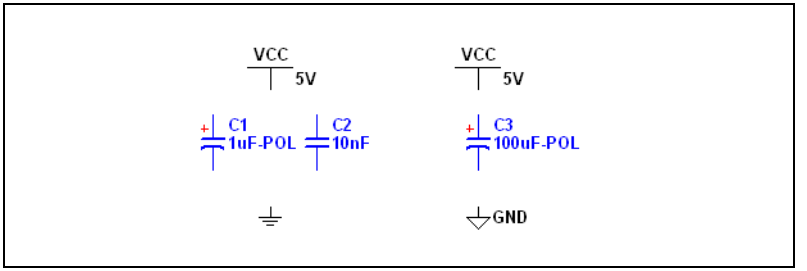
Tipp Wenn das benötigte Bauteil schon auf dem Schaltplan vorhanden ist, markieren Sie es, wählen Sie **Bearbeiten»Kopieren** und dann **Bearbeiten»Einfügen**. Sie können es außerdem aus der **Liste der verwendeten Bauelemente** auswählen und durch Klicken im Arbeitsbereich platzieren.

6. Fügen Sie die Bauteile für den Analogverstärker wie dargestellt ein und drehen Sie sie bei Bedarf.

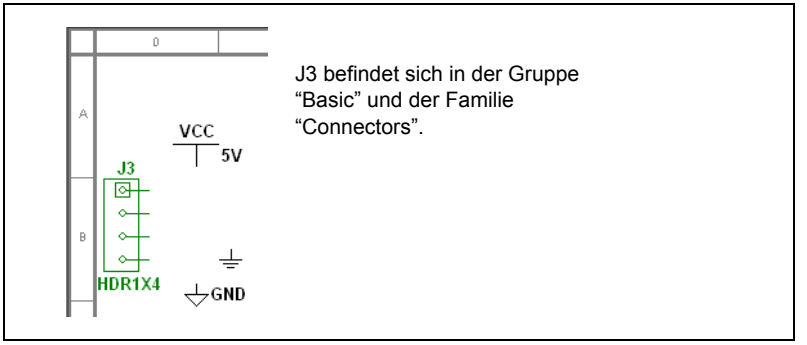


Klicken Sie die Wechselspannungsquelle nach dem Einfügen doppelt an. Ändern Sie **Effektivwert der Spannung (RMS)** auf 0,2 V und klicken Sie auf **OK**.

7. Fügen Sie die Bauteile für die Überbrückungskondensatoren wie dargestellt ein.



8. Fügen Sie den Kollektor und die dazugehörigen Bauteile wie nachfolgend dargestellt ein.



Tipp Nach dem Verdrahten einer Schaltung können Sie passive Bauteile mit zwei Anschlüssen – z. B. Widerstände – einfach auf einer Verbindung ablegen. Multisim fügt das Bauteil dann automatisch in den Stromkreis ein.

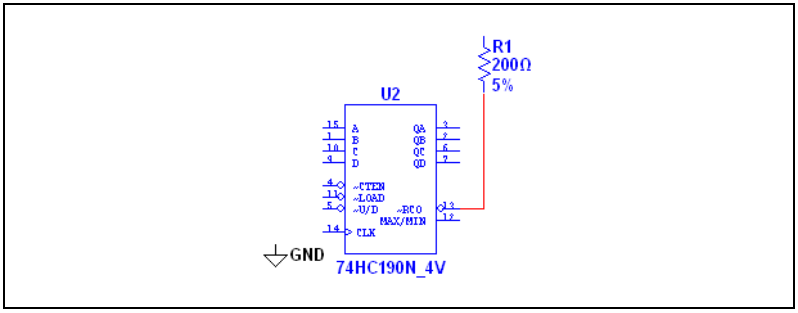
Verbinden der Bauteile

Alle Bauelemente haben Anschlussstifte, über die sie an andere Bauelementen oder Geräte angeschlossen werden können. Sobald sich der Cursor über einem Anschlussstift befindet, erkennt Multisim die gewünschte Verbindung und der Cursor verwandelt sich in ein Fadenkreuz.

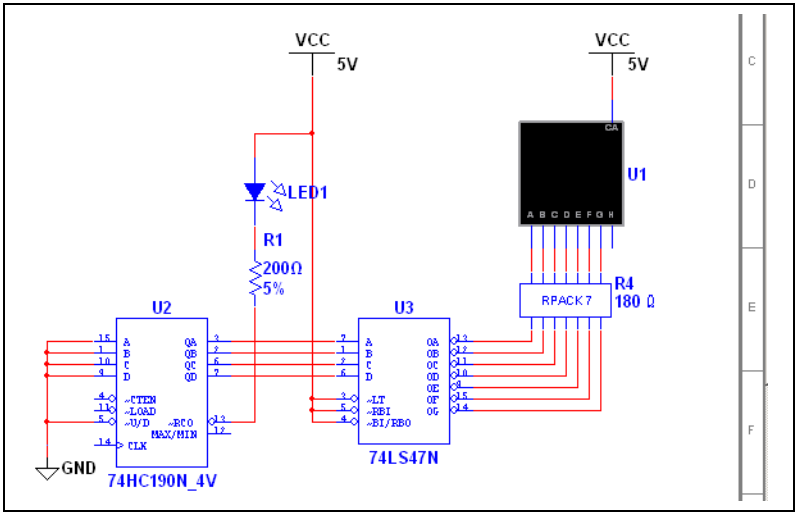
Tipp Sie können nun entweder die Bauelemente zu einer Schaltung verbinden, oder die Datei `Getting Started 1.ms10` verwenden. Diese befindet sich im Unterordner `Getting Started` des Ordners `samples`.

Führen Sie zum Verbinden der Schaltung folgende Schritte aus:

1. Klicken Sie den Ausgangspunkt für die Verbindung an. Der Cursor verwandelt sich daraufhin in ein Fadenkreuz. Bewegen Sie anschließend die Maus. Daraufhin erscheint unter dem Cursor eine Linie, die eine Leiterbahn symbolisieren soll.
2. Klicken Sie dann einen Anschluss eines anderen Bauteils an, um die Verbindung herzustellen. Multisim fügt die Leiterbahn automatisch an der richtigen Stelle und in der richtigen Konfiguration ein (vgl. Abbildung). Diese Funktion spart insbesondere beim Verbinden großer Schaltungen viel Zeit.



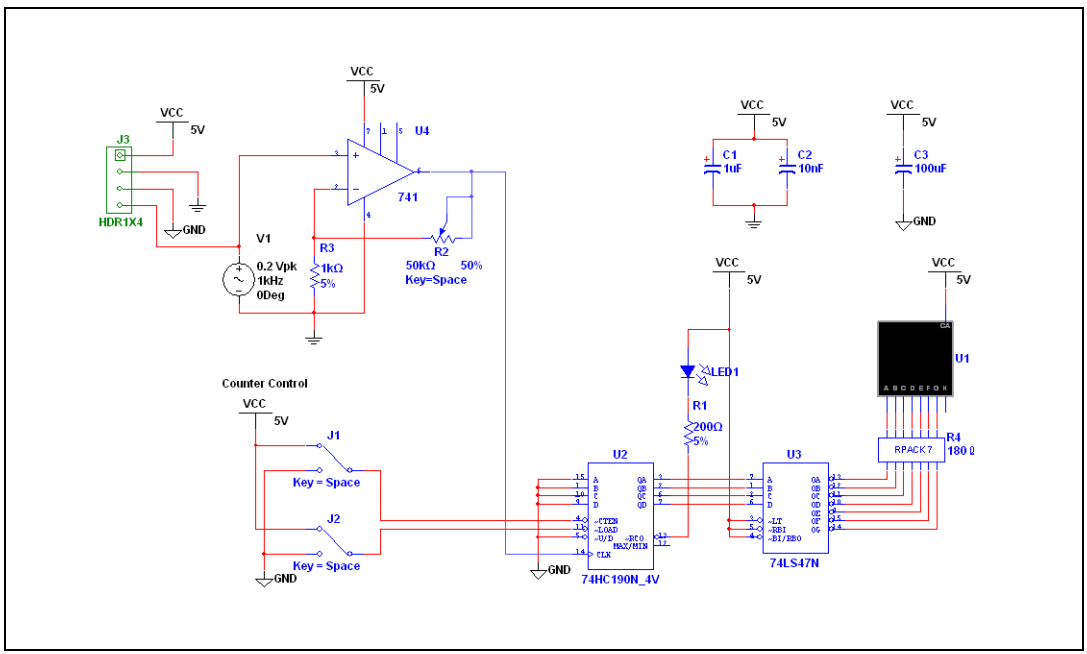
3. Sie können die Lage der Leiterbahn durch Mausklicks bestimmen. Bei jedem Klicken wird die Leiterbahn an der entsprechenden Stelle fixiert.
4. Verbinden Sie die restlichen Bauteile für den Zählerbaustein entsprechend der Darstellung.



Tipp Verbinden Sie Elemente mit mehreren Anschlussstiften, wie U3 und R4, mit Hilfe von *Bus-Vektorverbindungen*. Einzelheiten dazu finden Sie im *Multisim-Benutzerhandbuch*.

Tipp *Virtuelle Verdrahtung* — Damit die Verbindung nicht zu unübersichtlich wird, können Sie zwischen den Abschnitten “Zählersteuerung” und “Digitalzähler” virtuelle Verbindungen herstellen. Haben zwei Netze denselben Netznamen, sind sie virtuell miteinander verbunden.

5. Verdrahten Sie den Rest der Schaltung entsprechend der Abbildung (siehe unten).



Simulation

Durch Simulation Ihrer Schaltungen mit Multisim lassen sich schon früh Schaltungsfehler erkennen, wodurch Zeit und Geld gespart wird.

Virtuelle Messinstrumente

In diesem Abschnitt wird Ihre Schaltung mit Hilfe eines virtuellen Oszilloskops simuliert.

Tipp Sie können alternativ die Datei `Erste Schritte 2.ms10` aus dem `Erste Schritte`-Ordner verwenden, der sich im Ordner `Beispiele` befindet.

1. J1, J2 und R2 sind interaktive Bauelemente.

   Um die Bedientasten für J1, J2 und R2 festzulegen, klicken Sie die Bauelemente doppelt an. Geben Sie in das Feld **Taste** für J1 “E” ein, für J2 “L” und für R2 “A”.

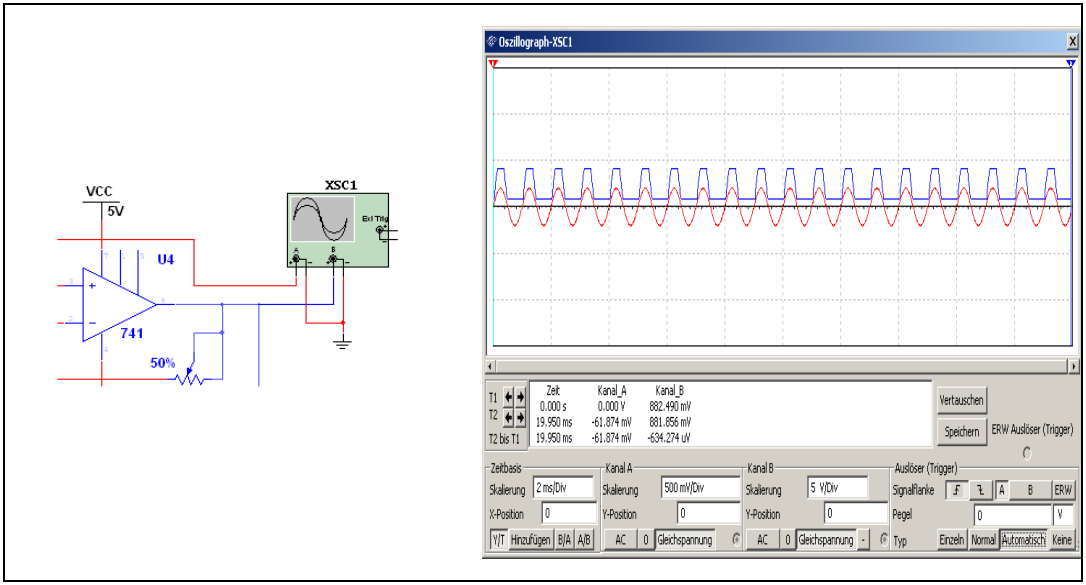
   Betätigen Sie “E” um den Zähler zu aktivieren, oder klicken Sie auf den erweiterten Schalterarm, der erscheint, wenn sich der Cursor über J1 befindet.

2. Wählen Sie **Simulieren»Instrumente»Oszilloskop**, um ein Oszilloskop einzufügen. Verbinden Sie das Gerät wie im Schritt 4. dargestellt mit der restlichen Schaltung.

Tipp Um einfach zwischen den Kurven auf dem Oszilloskop zu unterscheiden, klicken Sie die Leitung, die zum Eingang “B” des Geräts führt, mit der rechten Maustaste an und wählen Sie aus dem Popup-Menü die Option **Segmentfarbe** aus. Wählen Sie eine andere Farbe als die der Leitung an Eingang “A” aus, z. B. Blau. (Die Simulation kann nicht ausgeführt werden, wenn z.B. die Leitungsfarbe geändert oder irgendetwas anderes bearbeitet wird).

3. Klicken Sie das Symbol für das Oszilloskop doppelt an, um die Anzeige des Messgeräts einzublenden. Wählen Sie **Simulieren»Start**. Im Oszilloskop wird nun die Ausgabe des Operationsverstärkers angezeigt.

4. Stellen Sie die Skalierung der Zeitbasis auf 2 ms pro Skalenteil und die Empfindlichkeit von Kanal A auf 500 mV pro Skalenteil ein. Das Oszilloskop zeigt die Kurven dann folgendermaßen an:



Während der Simulation der Schaltung zählt die 7-Segment-Anzeige nach oben. Wenn der Zähler einmal durchgezählt hat, leuchtet die LED auf.

5. Drücken Sie während der Simulation die Taste “E”, um den Zähler zu aktivieren oder zu deaktivieren. Das Starten ist low-aktiv.

   Mit “L” wird der Zähler auf Null gestellt. Das Zurückstellen ist ebenfalls low-aktiv.

   Drücken Sie “Shift-A” und beobachten Sie, was beim Drehen am Potentiometer geschieht. Wiederholen Sie das Ganze, aber drücken Sie diesmal nur “A”.

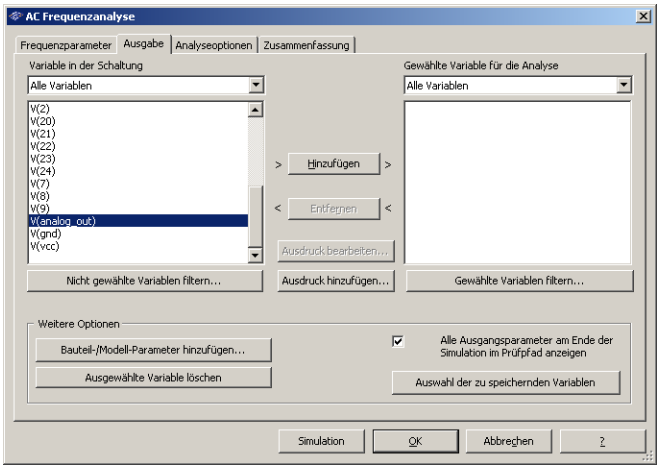
Tipp Alternativ zum Betätigen der oben genannten Schaltflächen, können Sie die interaktiven Bauelemente auch direkt in der Schaltung mit Ihrer Maus manipulieren.

Analyse

In diesem Abschnitt führen Sie an Ihrer Schaltung eine **AC-Analyse** durch, um den Frequenzgang des Verstärkers zu überprüfen.

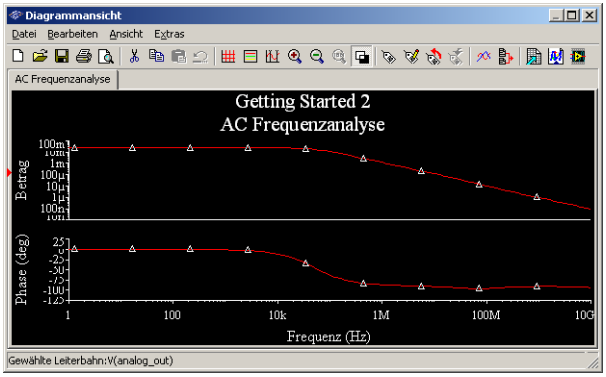
Um eine **AC-Analyse** am Ausgang des Operationsverstärkers durchzuführen:

1. Klicken Sie die Leiterbahn doppelt an, die zum Anschlussstift 6 des Operationsverstärkers führt, und ändern Sie den Netznamen im Dialogfeld **Netz** auf “analog_out”.
2. Wählen Sie **Simulieren»Analyse»AC-Analyse** und klicken Sie auf die Registerkarte **Ausgabe**.



3. Markieren Sie in der linken Spalte `V(analog_out)` und klicken Sie auf **Hinzufügen**. Der Eintrag `V(analog_out)` wird daraufhin in die rechte Spalte verschoben.

4. Klicken Sie auf **Simulieren**. Die Ergebnisse der Analyse werden in der **Graphanzeige** angezeigt.

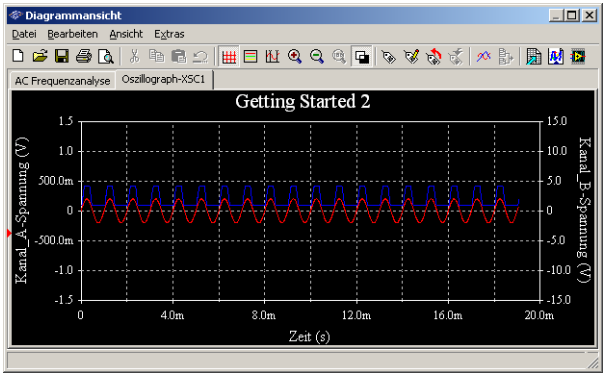


Die Graphanzeige

In der **Graphanzeige** können Sie Graphen und Tabellen anzeigen lassen, bearbeiten, speichern und exportieren. In diesem Fenster werden die Ergebnisse aller Multisim-Analysen in Graphen und Diagrammen oder Kurvengraphen dargestellt (wie z. B. bei einem Oszilloskop).

Zur Anzeige der Simulationsergebnisse in der **Grfikanzeige**:

1. Führen Sie die Simulation wie oben beschrieben durch.
2. Wählen Sie **Ansicht»Graphanzeige**.



Der Postprozessor

Im **Postprozessor** können Sie die Ergebnisse einer Schaltungsanalyse bearbeiten oder in Form eines Diagramms oder einer Abbildung darstellen lassen. Auf die Ergebnisse können arithmetische, trigonometrische, logarithmische, komplexe, logische sowie Exponential- und Vektorfunktionen angewandt werden.

Berichte

In Multisim können unterschiedliche Arten von Berichten erzeugt werden: Stücklisten (BOMs), Berichte mit Bauteildetails, Netzlistenberichte, Schaltplanstatistiken, Berichte über nicht verbundene Gatter oder Querverweisberichte. In diesem Abschnitt soll für den Beispielschaltplan eine **Stückliste** erstellt werden.

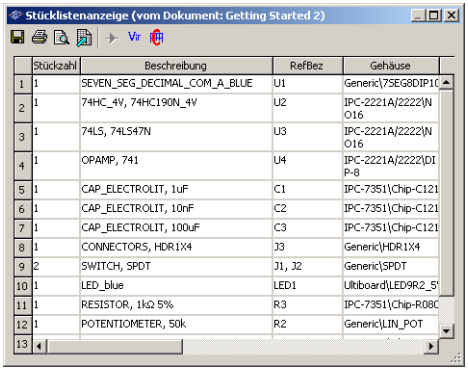
Stückliste

Eine Stückliste ist eine Aufstellung der Bauelemente, die für eine bestimmte Schaltung und die Herstellung der zugehörigen Leiterplatte verwendet werden. Die bereitgestellten Informationen umfassen:

- Die Stückzahl jedes erforderlichen Bauelements.
- Eine Beschreibung, in der der Bauteiltyp (z. B. Widerstand) und die Größe des Bauteils (z. B. 5,1 k) enthalten ist.
- Die Kennung jedes Bauelements.
- Das Gehäuse oder den Platzbedarf jedes Bauelements.

Gehen Sie zum Erstellen einer **Stückliste** (BOM - bill of materials) für Ihre Schaltung wie folgt vor:

1. Wählen Sie aus dem Menü **Berichte** die Option **Stückliste** aus.
2. Nun wird die Stückliste geöffnet (diese sieht in etwa wie folgt aus):



	Stückzahl	Beschreibung	RefBez	Gehäuse
1	1	SEVEN_SEG_DECIMAL_COM_A_BLUE	U1	Generic\7SEG8DIP1(
2	1	74HC_4V, 74HC190N_4V	U2	IPC-2221A/2222\N O16
3	1	74LS, 74LS47N	U3	IPC-2221A/2222\N O16
4	1	OPAMP, 741	U4	IPC-2221A/2222\DI P-8
5	1	CAP_ELECTROLIT, 1uF	C1	IPC-7351\Chip-C121
6	1	CAP_ELECTROLIT, 10nF	C2	IPC-7351\Chip-C121
7	1	CAP_ELECTROLIT, 100uF	C3	IPC-7351\Chip-C121
8	1	CONNECTORS, HDR1X4	J3	Generic\HDR1X4
9	2	SWITCH, SPDT	J1, J2	Generic\SPDT
10	1	LED_blue	LED1	Ultiboard\LED9R2_5'
11	1	RESISTOR, 1kΩ 5%	R3	IPC-7351\Chip-R08(
12	1	POTENTIOMETER, 50k	R2	Generic\LIN_POT
13				

Um die **Stückliste** auszudrucken, klicken Sie auf die Schaltfläche **Drukken**. Daraufhin öffnet sich das Windows-Druckdialogfeld, in dem Sie den gewünschten Drucker, die Anzahl der Kopien usw. auswählen können.

Klicken Sie zum Speichern der **Stückliste** auf die Schaltfläche **Speichern**. Daraufhin öffnet sich das Windows-Dialogfeld zum Speichern von Dateien, in dem Sie den Pfad und den Dateinamen angeben können.

Da die **Stückliste** hauptsächlich zur Unterstützung bei der Beschaffung und Herstellung gedacht ist, enthält sie lediglich “echte” Bauteile und keine Bauteile, die nicht real sind, oder die nicht beschafft werden können, wie z.B. Quellen oder virtuelle Bauelemente.

Wenn Sie eine Liste der Bauelemente in Ihrer Schaltung sehen wollen, bei denen es sich nicht um “reale” Bauelemente handelt, müssen Sie auf die Schaltfläche **Virtuell** klicken. Daraufhin wird ein weiteres Fenster geöffnet, in dem nur diese Bauelemente angezeigt werden.

Genaue Angaben zu Stücklisten und anderen Berichtarten finden Sie im *Multisim Benutzerhandbuch*.

3

Ultiboard-Tutorium

Das Tutorial in diesem Kapitel zeigt Ihnen, wie Sie die Bauelemente und Leiterbahnen für die im Multisim-Tutorial-Kapitel beschriebenen Schaltungen richtig platzieren.

Tipp Anweisungen zum Export eines Entwurfs von Multisim zu Ultiboard finden Sie im *Multisim-Benutzerhandbuch*, dem *Ultiboard-Benutzerhandbuch* oder in den Hilfedateien.

In diesem Kapitel werden folgende Themen besprochen:

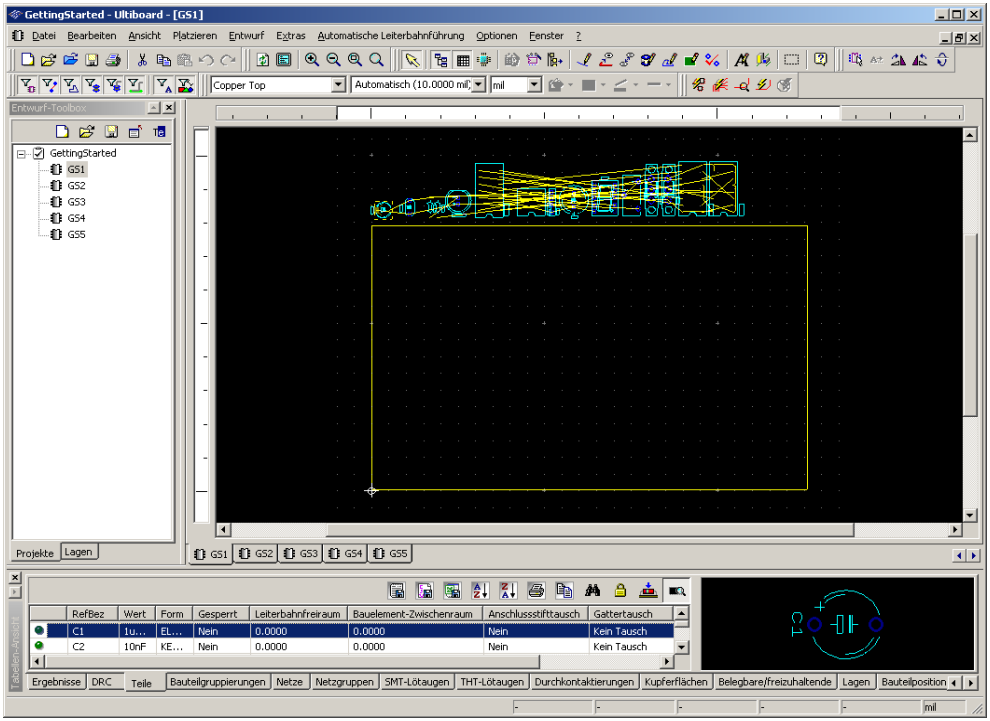
Thema	Seite
Öffnen des Tutorials	3-2
Erzeugen eines Leiterplattenumrisses	3-3
Platzieren von Bauelementen	3-6
Ziehen von Bauelemente aus dem Bereich außerhalb des Leiterplattenumrisses	3-7
Ziehen von Bauelementen von der Bauteile-Registerkarte	3-9
Einfügen der Tutorial-Bauelemente	3-9
Platzieren von Bauteilen aus der Datenbank	3-10
Verschieben von Bauelementen	3-12
Platzieren von Leiterbahnen	3-13
Manuelles Platzieren einer Leiterbahn	3-14
Platzieren einer Follow-me-Leiterbahn	3-17
Platzieren einer Connection-Machine-Leiterbahn	3-18
Automatische Bauteilplatzierung	3-19
Automatische Leiterbahnführung	3-20
Weitere Funktionen	3-21

Thema	Seite
Vorbereitung für Herstellung und Bestückung	3-22
Aufräumen der Leiterplatte (Clean-Up)	3-22
Hinzufügen von Kommentaren	3-23
Export einer Datei	3-23
3D-Ansicht von Entwürfen	3-24

Öffnen des Tutorials

Öffnen der Tutorial-Datei:

1. Wählen Sie **Start»Programme»National Instruments»Circuit Design Suite 10.0»Ultiboard**.
2. Wählen Sie **Datei»Öffnen**.
3. Wechseln Sie zum `quickstart`-Ordner, der sich im NI Circuit Design Suite-Installationsverzeichnis befindet (z.B. `...\samples\Getting Started`), und wählen dort `Getting Started.ewprj` und klicken Sie dann auf **Öffnen**. Die Projektdatei wird in Ultiboard geladen.



4. Zum Anwählen eines Entwurfs (z.B. `GS1`) klicken Sie entweder auf dessen Registerkarte oder auf dessen Namen in der **Projekte**-Registerkarte der **Design-Toolbox**.

Erzeugen eines Leiterplattenumrisses

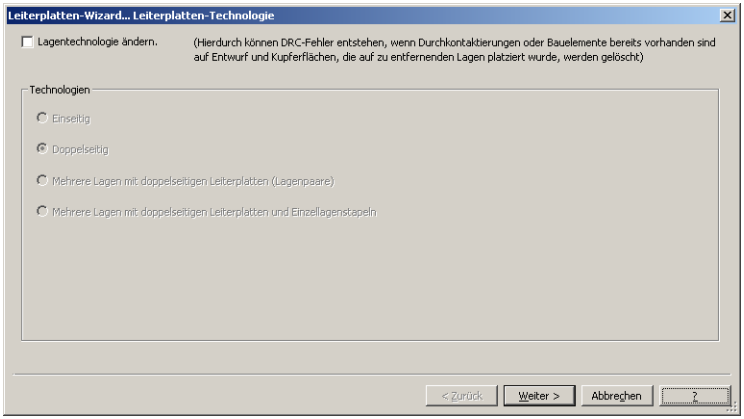
Ein Leiterplattenumriss kann auf eine der folgenden Weisen erstellt werden:

- durch Ziehen eines Leiterplattenumrisses mithilfe der Zeichnen-Werkzeuge
- durch Import einer DXF-Datei
- mit Hilfe des **Leiterplatten-Wizard**.

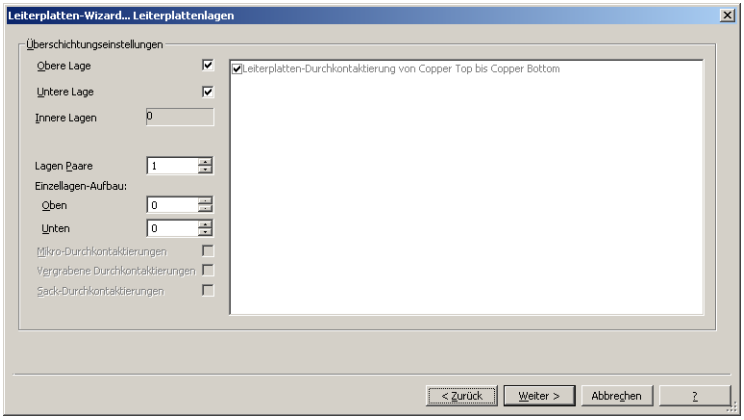
Erproben des **Leiterplatten-Wizards**:

1. Führen Sie einen Doppelklick auf **Leiterplattenumriss** der Registerkarte **Lagen** aus.

2. Klicken Sie auf den vorhandenen Leiterplattenumriss im `Quick1`-Entwurf und dann auf <Löschen>.
3. Wählen Sie **Werkzeuge»Leiterplattenassistent**.


Leiterplatten-Wizard... Leiterplatten-Technologie
Lagentechnologie ändern.
(Hierdurch können DRC-Fehler entstehen, wenn Durchkontaktierungen oder Bauelemente bereits vorhanden sind auf Entwurf und Kupferflächen, die auf zu entfernenden Lagen platziert wurde, werden gelöscht)
Technologien
Einseitig
Doppelseitig
Mehrere Lagen mit doppelseitigen Leiterplatten (Lagenpaare)
Mehrere Lagen mit doppelseitigen Leiterplatten und Einzellagenstapeln
< Zurück
Weiter >
Abbrechen
?

4. Aktivieren Sie die Option **Lagentechnologie ändern**, um auf die anderen Optionen zugreifen zu können.
5. Wählen Sie **Mehrere Lagen mit doppelseitigen Leiterplatten und Einzellagenstapeln** und klicken Sie **Weiter**.
6. Das nachfolgende Dialogfeld ermöglicht es Ihnen **Überschichtungs-Einstellungen** für die Platte vorzunehmen. (Für dieses Tutorium nehmen Sie bitte keine Einstellungsänderungen vor).



7. Klicken Sie auf **Weiter**.

   Im Dialogfenster **Leiterplattenform** erscheint:

- sicherstellen, dass der **Referenzpunkt** auf **links-unten** gesetzt ist zur **Ausrichtung**
- sicherstellen, dass die Option **rechteckig** gewählt ist
- stellen Sie die **Breite** auf 3000 und die **Höhe** auf 2000 (diese Größe ist für die Bauelemente in diesem Entwurf besser geeignet)
- stellen Sie den **Freiraum** auf den Wert 5,00000. Dies legt den Bereich gemessen vom Leiterplattenrand fest, der von jeglichen anderen Elementen freizuhalten ist.

8. Klicken Sie auf **fertigstellen**. Der Leiterplattenumriss wird Ihrem Entwurf hinzugefügt.

Hinweis Weitere Einzelheiten zum **Leiterplattenassistent** erfahren Sie im *Ultiboard-Benutzerhandbuch*.

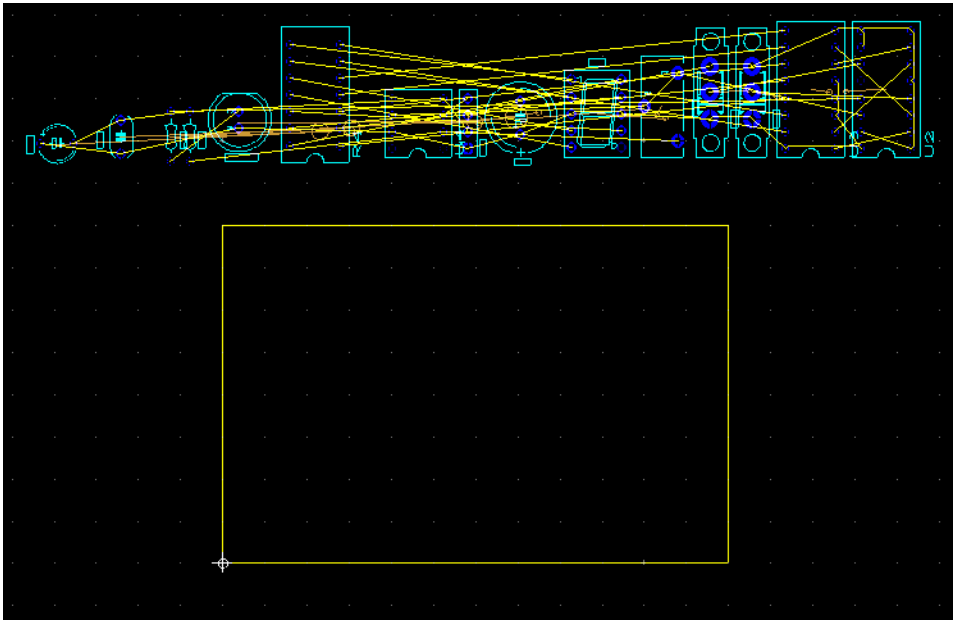
Verschieben des Leiterplattenumrisses:

1. Führen Sie einen Doppelklick auf **Leiterplattenumriss** der Registerkarte **Lagen** aus.
2. Klicken Sie dann an eine beliebige Stelle im Arbeitsbereich des Leiterplattenumrisses, und ziehen Sie die Leiterplatte direkt unter die Bauelementereihe.

Ändern des Referenzpunktes:

1. Wählen Sie **Entwurf»Referenzpunkt setzen**. Der Referenzpunkt wird nun dem Cursor “angehängt”.

2. Bewegen Sie den Cursor zur unteren linken Ecke des Leiterplattenumrisses und kicken Sie darauf, um ihn einzufügen.



Platzieren von Bauelementen

Sie können Bauelemente Ihrer `GS1` Entwurfsdatei auf mehrere, unterschiedliche Arten platzieren:

- Wählen Sie ein oder mehrere Bauelemente aus dem Bereich außerhalb des Leiterplattenumrisses und ziehen Sie diese zum gewünschten Ort
- Verwenden Sie die Registerkarte **Bauteile** der **Kalkulationstabellenansicht**, um Bauelemente zu finden und zu platzieren
- Wählen Sie Bauteile aus der Datenbank.

Tipp Sie können den Befehl **Bauelemente platzieren/Platzierung aufheben** dazu nutzen, alle nicht fixierten Bauelemente von der gedruckten Leiterplatte zu entfernen und verschiedene Platzierungstechniken ausprobieren.

Ziehen von Bauelemente aus dem Bereich außerhalb des Leiterplattenumrisses

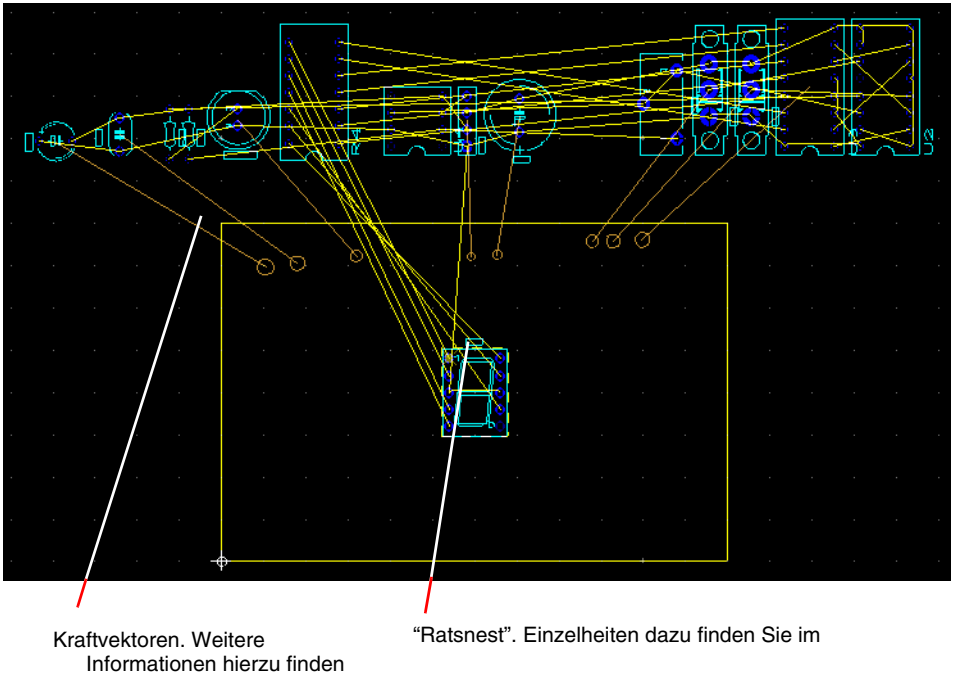
Beim Öffnen einer Netzliste aus Multisim oder eines anderen Schaltungserfassungsprogrammes werden Bauelemente standardmäßig außerhalb des Leiterplattenumrisses angeordnet. Klicken Sie vor Beginn auf die **Oberste Kupferflächen**-Lage in der **Design-Toolbox**, um diese zur aktiven Lage zu machen.

U1 aus dem Bereich außerhalb des Leiterplattenumrisses ziehen:

1. Suchen Sie U1 in der Bauelementesammlung außerhalb des Leiterplattenumrisses. Zoomen Sie dazu den Bereich mit F8 heran, bis Sie U1 erkennen können.

Tipp Außerdem können Sie mithilfe der Funktion **Bearbeiten»Suchen** nach einem Bauteil suchen. Diese Funktion arbeitet im Großen und Ganzen wie die Suche-Funktion anderer Anwendungen. Zusätzlich können sie ein Bauteil jedoch auch nach Namen, Nummer, Form, Wert oder anderen Variablen ausfindig machen. Einzelheiten dazu finden Sie im *Ultiboard-Benutzerhandbuch*.

2. Klicken Sie auf U1 (die 7-Segmente-Anzeige) und ziehen Sie diese in die Mitte der Leiterplatte.



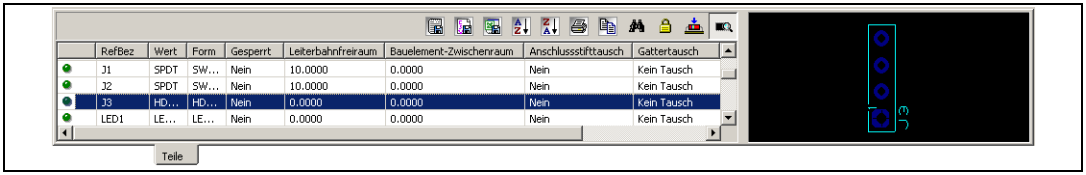
U1 bleibt angewählt. Dies ist ein besonders wichtiger Punkt für Ultiboard und zieht sich durch die gesamte Anwendung - Sie müssen einen bestimmten Vorgang jedesmal explizit beenden. In diesem Fall wird das Bauelement durch einen einfachen Klick an eine andere Stelle wieder abgewählt. Auch ein Klick mit der rechten Maustaste beendet den aktuellen Vorgang.

3. Gehen Sie auf die Registerkarte **Bauteile** in der **Kalkulationstabellenansicht** und scrollen Sie zu U1. Sie werden feststellen, dass das grüne Licht neben dem Bauelement etwas heller ist - dies weist darauf hin, dass das Bauelement platziert wurde.

Ziehen von Bauelementen von der Bauteile-Registerkarte

Ziehen von Bauelementen von der **Bauteile**-Registerkarte:

1. Scrollen Sie in der **Bauteile**-Registerkarte bis zu J3 nach unten.



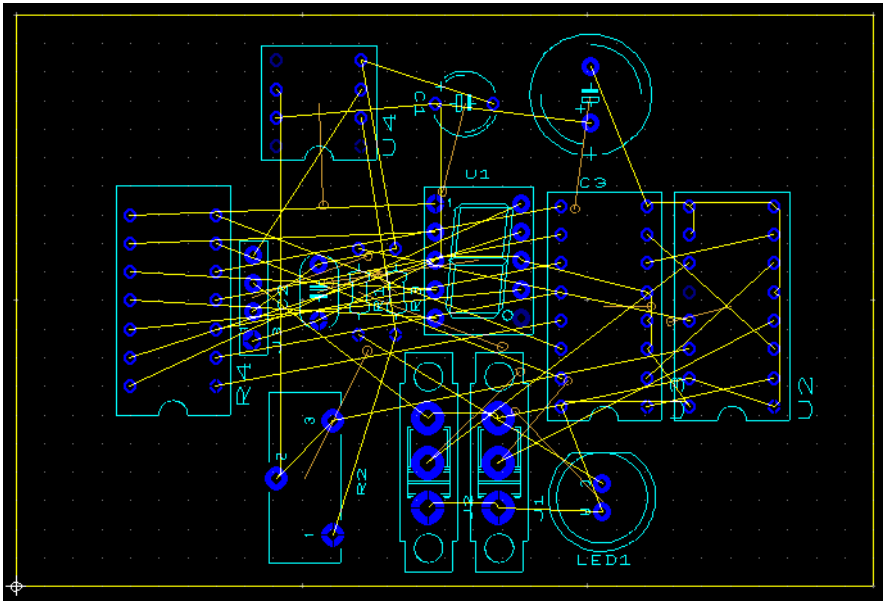
2. Klicken Sie auf J3 und ziehen Sie es von der **Bauteile**-Registerkarte in den Arbeitsbereich. J3 ist nun Ihrem Mauszeiger angehängt.
3. Legen Sie J3 links mittig auf der Leiterplatte ab. Wie bereits zuvor beobachtet, leuchtet nun auch das grüne Licht für J3 auf der **Bauteil**-Registerkarte etwas heller und zeigt damit an, dass dieses Bauelement platziert wurde.

Für ein noch schnelleres Platzieren von Bauteilen wählen Sie in der **Bauteile**-Registerkarte ein nicht platziertes Bauteil (dessen grünes Licht leuchtet schwach) und klicken Sie auf die Schaltfläche **Nicht positionierte Bauteile platzieren**. Ultiboard geht nun systematisch durch die Bauelementliste der **Bauteile**-Registerkarte, wählt jedes einzelne aus und hängt es Ihrem Mauszeiger an, sodass sie es platzieren können, sodann wählt es das nächste aus der Liste aus.

Einfügen der Tutorial-Bauelemente

Beliebige Verfahren oder Kombination von Verfahren können Ihr Layout so aussehen lassen, wie die unten gezeigte Abbildung. Alternativ können Sie aber auch die nächste Entwurfsdatei in Ihrem Projekt öffnen `GS2`, die bereits entsprechend vorbereitet wurde.

Ihr Entwurf sollte wie folgt aussehen:



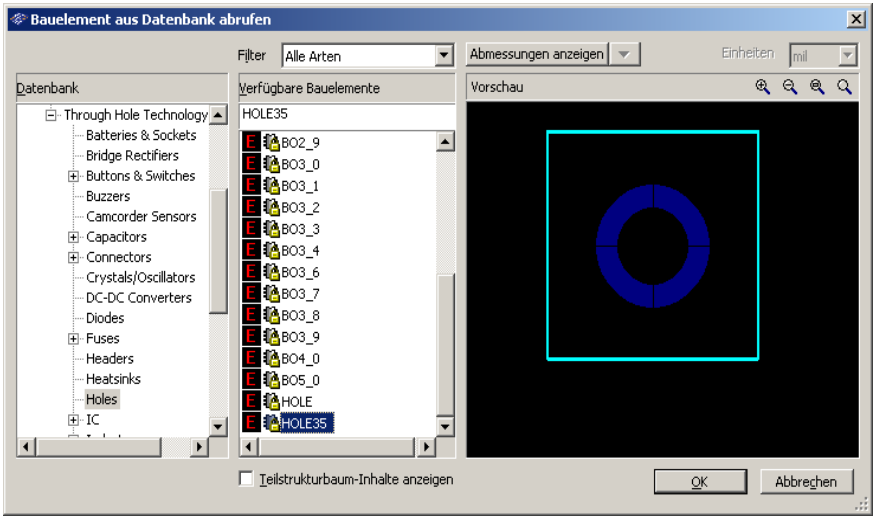
Platzieren von Bauteilen aus der Datenbank

Neben der Möglichkeit des Platzierens von Bauteilen, die als Teil Ihrer Entwurfsdatei importiert wurden, können Sie Bauteile auch direkt aus der Datenbank platzieren. Im Folgenden wird diese Methode zum Platzieren der Montagebohrungen verwandt.

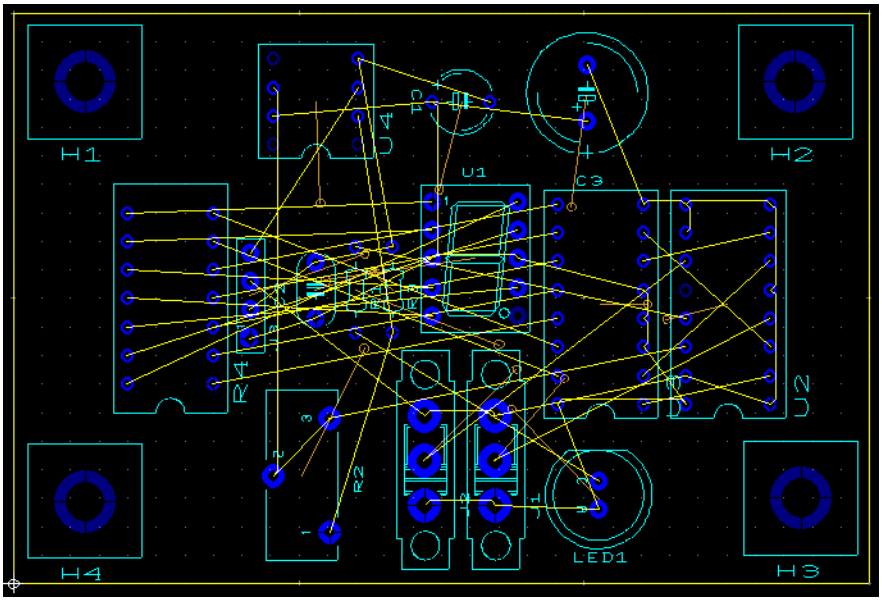
Platzieren von Bauteilen der Datenbank:

1. Wählen Sie **Platzieren»aus Datenbank**. Es erscheint das Dialogfenster **Bauteil aus Datenbank entnehmen**:
2. Vergrößern Sie im **Datenbank**-Feld die Kategorie **Durchkontaktierungstechnologie-Bauteile** und wechseln Sie zur Kategorie **Bohrlöcher**. Die Bauteile erscheinen im Feld **Verfügbare Bauteile**.

3. Wählen Sie im Feld **Verfügbare Bauteile** das Bauteil Loch35. Das Bauteil wird daraufhin im Feld **Vorschau** angezeigt.



4. Klicken Sie auf **OK**. Das Dialogfenster **Bauteil aus Datenbank entnehmen** verschwindet und Sie werden dazu aufgefordert, den **RefBez** und den **Wert** einzugeben.
5. Geben Sie den Referenzbezeichner (H1) des Bohrlochs und den Wert (HOLE) an und klicken Sie auf **OK**.
6. Bewegen Sie den Mauszeiger über die Leiterplatte. Das Bauteil “hängt” nun am Mauszeiger.
7. Sobald sich das Loch im Bereich der oberen linken Ecke befindet, legen Sie es durch einen Mausklick auf der Leiterplatte ab.
8. Es erscheint erneut das Dialogfeld **Referenzbezeichnung für Bauelement eingeben**. Der Referenzbezeichner wird automatisch auf H2 erhöht. Klicken Sie auf **OK**, um die nächste Montagebohrung in der oberen rechten Ecke zu platzieren und setzen Sie so mit H3 in der unteren rechten Ecke und H4 in der unteren linken Ecke fort. Klicken Sie auf **Abbrechen**, um anzuhalten und erneut auf **Abbrechen**, um das Dialogfenster **Bauteil aus Datenbank entnehmen** zu schließen.



Verschieben von Bauelementen

Sie können dieselben Verfahren zum Verschieben von Bauelementen verwenden wie für das Platzieren. Um ein Bauelement auszuwählen, das sich bereits auf der Leiterplatte befindet, müssen Sie nur darauf klicken. Um die X/Y-Koordinaten festzulegen, zu denen das ausgewählte Bauteil verschoben werden soll, ist die *-Taste auf dem numerischen Tastenblock drücken. Alternativ können Sie auch unter der **Bauteile**-Registerkarte ein platziertes Bauelement auswählen (durch eine hell leuchtendes grünes Licht gekennzeichnet) und dieses an einen anderen Ort ziehen.

Tipp Die Bauelement-Beschriftung ist ein separates Element bezüglich des Footprints. Bei der Auswahl eines Bauelements auf der Leiterplatte müssen Sie sicherstellen, dass Sie das gesamte Bauelement auswählen und nicht nur die Beschriftung.

Tipp Sobald ein Bauelement ausgewählt wurde, können Sie es auch durch Drücken der Pfeiltasten Ihrer Tastatur verschieben.

Auch die Auswahl und das gemeinsame Verschieben einer Gruppe von Bauelementen ist möglich. Das kann wie folgt geschehen:

- Drücken der UMSCHALT-Taste und Anklicken von mindestens zwei Bauelementen
- Auswahl mehrerer Bauelemente gleichzeitig durch Ziehen eines Feldes mit der Maus.

Alle ausgewählten Bauelemente werden gemeinsam verschoben, sobald Sie den Cursor bewegen.

Tipp Diese Gruppen sind nur temporäre Gruppen - sobald Sie ein anderes Bauelement auswählen, wird die Gruppenverbindung aufgelöst. Um eine Gruppe dauerhaft (bis zum Entfernen) zusammenzuhalten, ist der **Gruppeneditor** zu verwenden. Weitere Informationen hierzu finden Sie im *Ultiboard-Benutzerhandbuch*.

Eine weitere Option zum Verschieben von Bauelemente stellen die Funktionen **Bearbeiten»Ausrichten** dar, mit deren Hilfe die Ränder der ausgewählten Bauelemente ausgerichtet oder diese relativ zueinander mit Zwischenräumen angeordnet werden.

Nutzen Sie die Funktionen **Bearbeiten»Ausrichten**, um die soeben platzierten Montagebohrungen auszurichten:

1. Wählen Sie H1 und halten Sie für H2 die <Umschalt>-Taste gedrückt.
2. Wählen Sie **Bearbeiten»Ausrichten»Oben ausrichten**. Falls H2 nicht bereits genau mit H2 gefluchtet hat, können Sie nun beobachten, wie es sich zu diesem Zweck verschiebt.
3. Klicken Sie auf einen freien Bereich auf der Leiterplatte und wählen Sie dann H2 und H3.
4. Wählen Sie **Bearbeiten»Ausrichten»Rechts ausrichten**.
5. Setzen Sie auf diese Weise mit dem Ausrichten der unteren Bereiche von H3 und H4 sowie der linken Bereiche von H1 und H4 fort.

Platzieren von Leiterbahnen

Zum Platzieren von Leiterbahnen stehen Ihnen die folgenden Optionen zur Verfügung:

- Manuell platzierte Leiterbahn
- Follow-me-Leiterbahn
- Connection-Machine-Leiterbahn.

Eine manuelle Leiterbahn wird genau so angelegt, wie Sie es vorgeben, auch wenn der dabei von Ihnen gewählte Pfad über ein Bauelement läuft. Eine Follow-me-Leiterbahn stellt selbständig zulässige Verbindungen zwischen den mit der Maus angewählten Anschlussstiften her - Sie können sich von Anschlussstift zu Anschlussstift bewegen und so eine zulässige Leiterbahn anlegen. Eine Connection-Machine-Leiterbahn verbindet zwei Anschlussstifte auf dem effektivsten Weg - es besteht jedoch stets die Möglichkeit der Änderung.

Beim Platzieren einer Leiterbahn und vor dem Fixieren einer solchen können Sie ein Segment jederzeit durch zurückziehen des Cursors über dem Segment wieder entfernen. Jedes Mal, wenn Sie eine Leiterbahn durch Klicken manuell platzieren, oder wenn eine Follow-me-Leiterbahn oder eine Connection-Machine-Leiterbahn die Richtung ändert, erzeugt das ein separates Segment dieser Leiterbahn. Bei der Ausführung von Leiterbahnoperationen ist sicherzustellen, dass entweder das passende Segment oder bei Bedarf die gesamte Leiterbahn ausgewählt wurde.

Manuelles Platzieren einer Leiterbahn

Sie können fortsetzen mit dem Entwurf, den Sie bearbeitet haben, oder `GS3` öffnen. Stellen Sie sicher, dass Sie sich vor Beginn auf der **Obersten Kupferflächen**-Lage befinden.

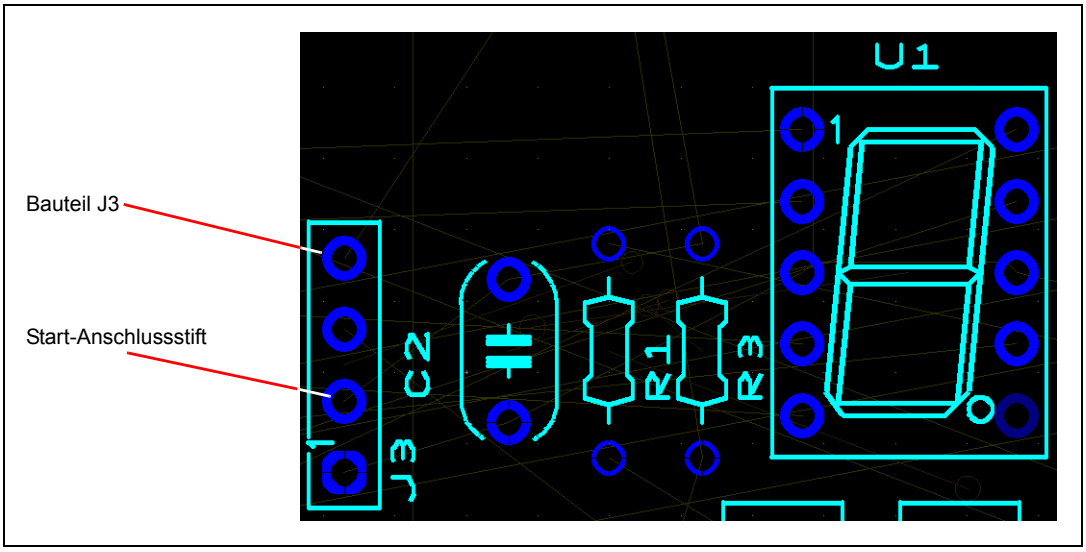
Tipp Bei Bedarf drücken Sie F7, um den gesamten Entwurf anzuzeigen.

Manuelles Platzieren einer Leiterbahn:

1. Wählen Sie **Platzieren»Leiterbahn**.

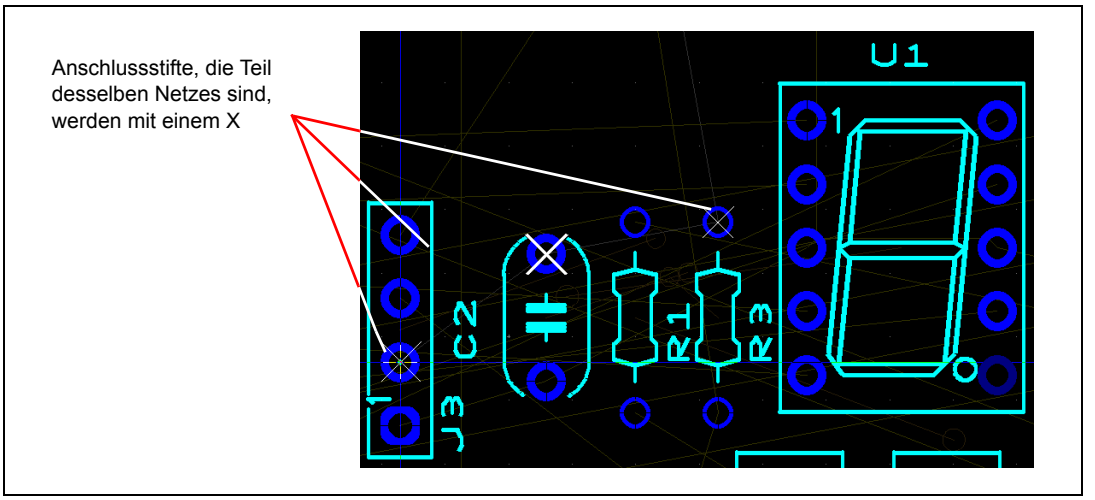
Tipp Der Befehl **Leiterbahn** dient dazu, eine Leiterbahn auf einer beliebigen Lage zu erzeugen. Die Ergebnisse sind dabei unterschiedlich und hängen von der gewählten Lage ab. Wenn die ausgewählte Lage zum Beispiel die Siebdrucklage ist, so erzeugen Sie eine Leiterbahn auf der Siebdrucklage der gedruckten Leiterplatte. Falls es sich bei der ausgewählten Lage um eine Kupferlage handelt, ist die Leiterbahn eine leitende Verbindung.

2. Suchen Sie J3 im linken Bereich der Leiterplatte. Finden Sie heraus, wo sich der unten gezeigte Start-Anschlussstift befindet:

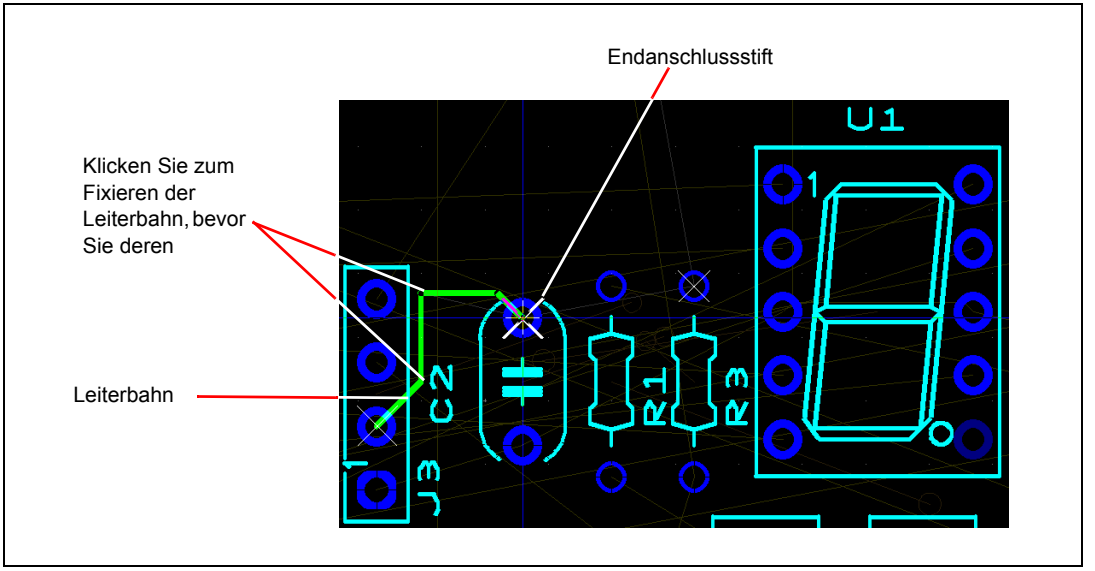


Tipp Falls Sie mit dem Auffinden des Bauelements Schwierigkeiten haben, nutzen Sie die **Such**-Funktion der Registerkarte **Bauteile**. Wählen Sie das Bauelement auf der Registerkarte **Bauteile**, und klicken Sie dann die Schaltfläche **Bauteil suchen und auswählen**. Das Bauelement wird im Arbeitsbereich angezeigt. Bei Bedarf können Sie mit F8 auch noch näher heranzoomen.

3. Klicken Sie auf den Anschlussstift, der im Schritt oben festgelegt wurde. Ultiboard hebt alle Anschlussstifte hervor, die Teil desselben Netzes sind, wie der von Ihnen angeklickte Anschlussstift. (Die Kennzeichnungsfarbe kann in der Registerkarte **Farben** des Dialogfensters **Voreinstellungen** verändert werden). So wissen Sie, welche Anschlussstifte anzuschließen sind, und können Ihre Schaltung ordnungsgemäß fertigstellen.



4. Bewegen Sie den Cursor in eine beliebige Richtung. Eine grüne Linie (die Leiterbahn) wird nun an den ausgewählten Anschlussstift angehängt. Jedes Mal, wenn Sie klicken, verankern Sie ein Leiterbahnsegment.
5. Klicken Sie auf den Zielstift.

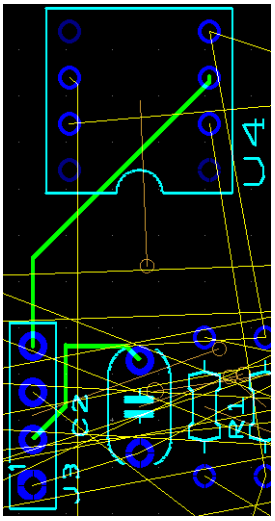


6. Ein Rechtsklick unterbricht den Vorgang der Leiterbahnplatzierung

Platzieren einer Follow-me-Leiterbahn

Platzieren einer Follow-me-Leiterbahn:

1. Wählen Sie **Platzieren»Follow-me**.
2. Klicken Sie auf den obersten Anschlussstift von J3.
3. Klicken Sie auf den zweiten Anschlussstift der rechten Spalte von U4.
4. Ultiboard stellt nun für Sie den Anschluss her.

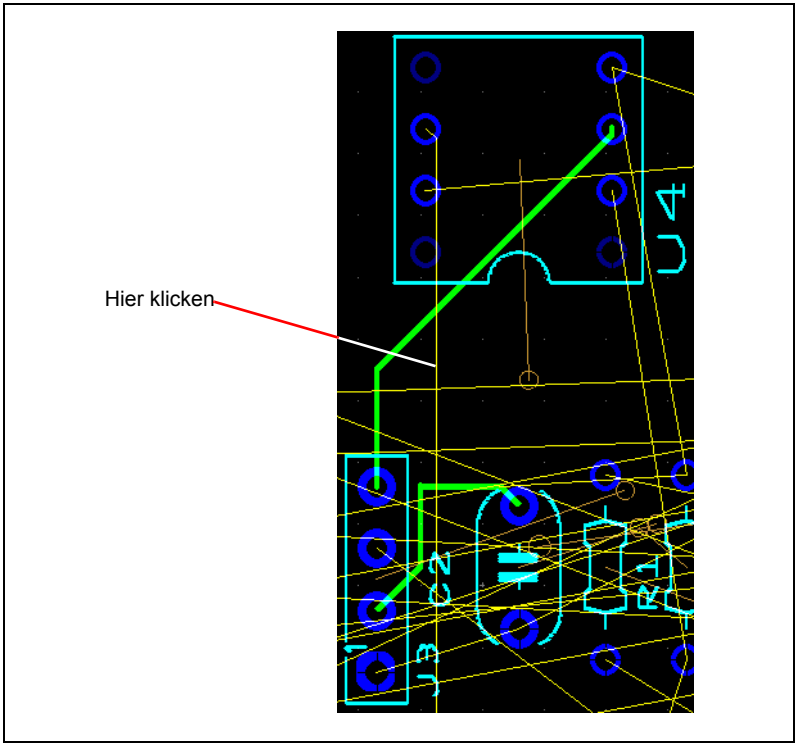


Tipp Sie müssen nicht genau auf einen Anschlussstift klicken - Sie können alternativ auch damit beginnen, auf ein “Ratsnest” zu klicken.

Platzieren einer Connection-Machine-Leiterbahn

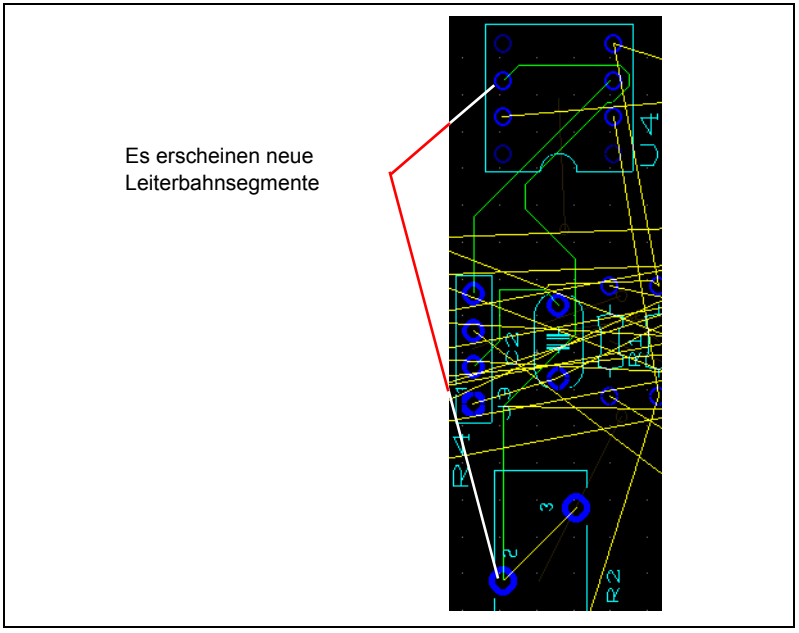
Platzieren einer **Connection-Machine**-Leiterbahn:

1. Wählen Sie **Platzieren»Connection-Machine**.
2. Klicken Sie auf das unten angezeigte “Ratsnest”-Segment.



3. Bewegen Sie Ihren Cursor - Ultiboard schlägt verschiedene Leiterbahnführungen um Hindernisse herum vor.

4. Sobald Sie sich für eine Leiterbahnführung entschieden haben, fixieren Sie die Leiterbahn durch einen Klick. Sie müssen nicht auf das “Ratsnest” oder den Endanschlussstift klicken.



5. Mit der rechten Maustaste beenden Sie die Leiterbahnplatzierung.

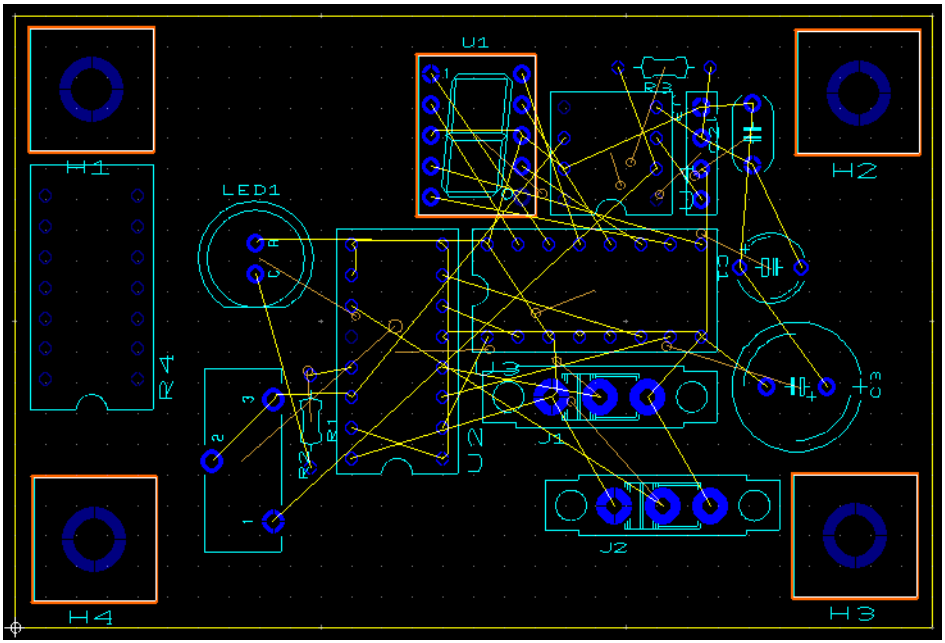
Automatische Bauteilplatzierung

Alternativ zu dem zuvor in diesem Kapitel beschriebenen Platzieren von Bauteilen können Sie auch die erweiterte automatische Bauteilplatzierungsfunktion von Ultiboard verwenden.

Tipp Vor dem automatischen Platzieren von Bauteilen müssen Sie diejenigen Bauelemente, die Sie während des Vorgangs des automatischen Platzierens nicht verschieben möchten, vorplatzieren und festsetzen. (Die Montagebohrungen und U1 in `GS5` sind vorplatziert und festgesetzt worden). Weitere Informationen zum Festsetzen von Bauteilen finden Sie im *Ultiboard-Benutzerhandbuch*.

Automatisches Platzieren in `Erste Schritte.ewprj`:

1. Öffnen Sie den Entwurf `GS5`in Ultiboard.
2. Wählen Sie **Automatische Leiterbahnführung/automatisches Platzieren starten**. Die Bauteile werden auf der Leiterplatte platziert.



Automatische Leiterbahnführung

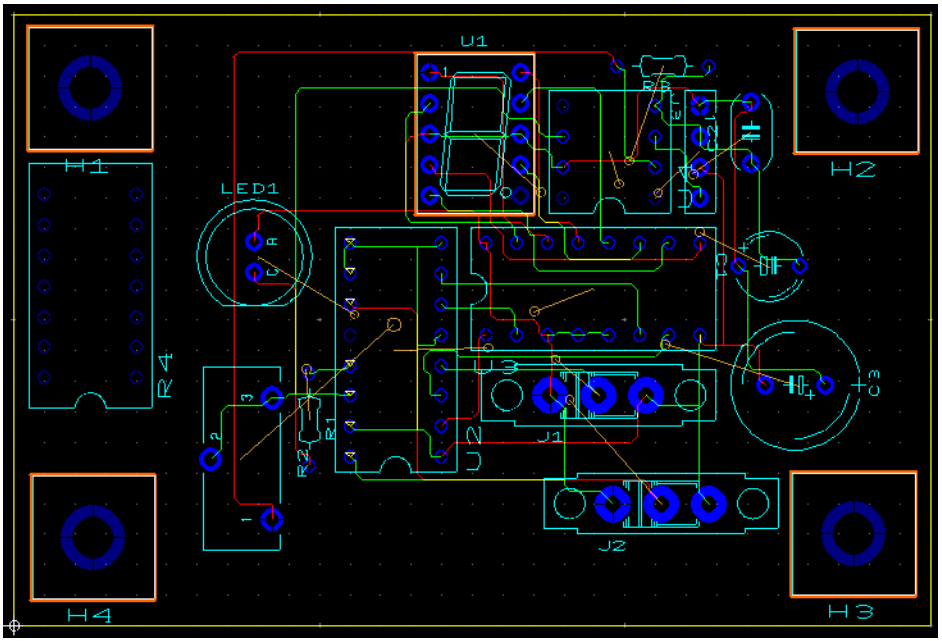
Sie können die Leiterbahnen in Ultiboard mit den zuvor in diesem Kapitel beschriebenen Verfahren platzieren, oder dies wie unten beschrieben mit der automatischen Leiterbahnführung tun.

Zur automatischen Leiterbahnführung in `Getting Started.ewprj`:

1. Wählen Sie **Automatische Leiterbahnführung»Start/automatische Leiterbahnführung erneut aufnehmen**. Der Arbeitsbereich nimmt den Vorgang der automatischen Leiterbahnführung auf.

   Mit Fortschreiten des Vorgangs sehen Sie, wie Leiterbahnen auf der Leiterplatte platziert werden. Nach Abschluss des Vorgangs wird der Modus der automatischen Leiterbahnführung geschlossen und der bisherige Arbeitsbereich wieder geöffnet.

2. Optional können Sie auch **Automatische Leiterbahnführung»Start Optimierung** wählen, um die Platzierung der Leiterbahnen noch zu optimieren.



Die Funktion Automatische Leiterbahnführung kann jederzeit angehalten und bei Bedarf manuelle Änderungen vorgenommen werden. Bei erneutem Start der automatischen Leiterbahnführung setzt diese Funktion den Vorgang mit den vorgenommenen Änderungen fort. Stellen Sie sicher, alle manuell platzierten Leiterbahnen zuvor zu fixieren, damit diese nicht durch die Automatik verschoben werden.

Tipp Nutzen Sie das Dialogfenster **Leiterbahnführungsoptionen**, um die Optionen Automatisches Platzieren und Automatische Leiterbahnführung zu verändern. Einzelheiten dazu finden Sie im *Ultiboard-Benutzerhandbuch*.

Weitere Funktionen

Ultiboard hat noch viele weitere nützliche Funktionen, dazu gehören:

- **Netzanknüpfungspunkte** - diese dienen dazu, Verbindungen zwischen verschiedenen Netzen herzustellen (z.B. Digital- und Analogmasse), ohne dass die Eigenschaften der Netze dabei verloren gehen.

- **Leiterplatten-Übertragungsleitungsrechner** - dieser berechnet die folgenden Parameter typischer Leiterbahngeometrien gedruckter Leiterplatten:
  - Charakteristische Impedanz (Z0)
  - Kapazität pro Längeneinheit (C0)
  - Induktiver Blindwiderstand pro Längeneinheit (L0)
  - Schaltverzögerungszeit (tpd)
- **Rechner differentielle Impedanz Leiterplatte** - führt Berechnungen für zwei Leiterbahnen durch, welche Signale übertragen, die exakt gleich und gegensätzlich sind (symmetrisches Paar); dient der Berechnung der folgenden Parameter für symmetrische Paare:
  - Charakteristische Impedanz (Z0)
  - Kapazität pro Längeneinheit (C0)
  - Induktiver Blindwiderstand pro Längeneinheit (L0)
  - Schaltverzögerungszeit (tpd)
  - Differenzielle Impedanz (Zdiff)

Vorbereitung für Herstellung und Bestückung

Ultiboard kann viele verschiedene Ausgabeformate erstellen, um Ihre Bedürfnisse bei Produktion und Fertigung zu befriedigen. Dieser Abschnitt erläutert die Funktionen, die dazu dienen, Ihre Leiterplatte für Produktions- und Dokumentationszwecke zu erstellen.

Aufräumen der Leiterplatte (Clean-Up)

Bevor Sie die Leiterplatte zur Fertigung schicken, sollten Sie alle offenen Leiterbahnenden (Leiterbahnsegmente ohne Endanschlüsse im Entwurf) und nicht genutzten Lötaugen auf der Leiterplatte beseitigen.

Beim Löschen von offenen Leiterbahnenden ist sicherzustellen, dass der GS4-Entwurf geöffnet ist. Wählen Sie dann **Bearbeiten»Kupferflächen löschen»offene Leiterbahnenden**. Dadurch werden alle offenen Leiterbahnenden im Entwurf gelöscht.

Um nicht genutzte Lötaugen zu beseitigen, ist sicherzustellen, dass der Entwurf geöffnet ist und dann **Entwurf»nicht genutzte Durchkontaktierungen** angewählt wird, sodass alle Lötaugen ohne Anschluss an Leiterbahnsegmente oder Kupferflächen gelöscht werden.

Hinzufügen von Kommentaren

Tipp Kommentare können dazu dienen, Änderungsvorgaben der Ingenieursabteilung zu verdeutlichen, um auf diese Weise die gemeinsame Arbeit innerhalb eines Teams zu ermöglichen oder einem Entwurf bestimmte Hintergrundinformationen zuzuweisen.

Sie können einen Kommentar direkt in einen Arbeitsbereich einfügen oder einem Bauelement anfügen. Wird ein Bauelement mit einem angefügten Kommentar verschoben, so verschiebt sich der Kommentar ebenfalls.

Weitere Informationen hierzu finden Sie im *Ultiboard-Benutzerhandbuch*.

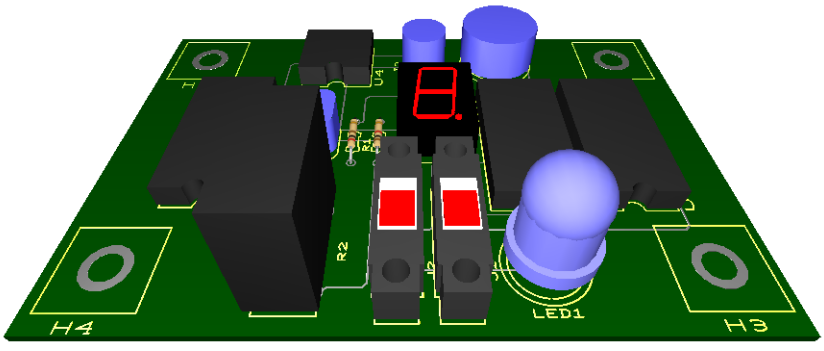
Export einer Datei

Der Export einer Datei bezieht sich auf das Erstellen von Informationen von Ultiboard in einem Format, das durch den Hersteller der Leiterplatte gelesen werden kann. Eine exportierte Datei enthält vollständige Informationen darüber, wie eine fertiggestellte Leiterplatte anzufertigen ist. Zu den exportierbaren Dateien gehören Gerber RS-274X- und RS-274D-Dateien.

Vollständige Informationen hierzu finden Sie im *Ultiboard-Benutzerhandbuch*.

3D-Ansicht von Entwürfen

Ultiboard ermöglicht Ihnen jederzeit eine dreidimensionale Voransicht Ihrer Leiterplatte. Vollständige Informationen hierzu finden Sie im *Ultiboard-Benutzerhandbuch*.



Tipp Sie können die **Interne Ansicht** dazu nutzen, zwischen die Lagen einer Mehrlagen-Leiterplatte zu schauen. Weitere Informationen hierzu finden Sie im *Ultiboard-Benutzerhandbuch*.

4

Multisim MCU Modul-Tutorial

Das Tutorial in diesem Kapitel führt Sie durch den Vorgang der Simulation und Fehlersuche einer Schaltung mit Mikrocontroller.

In diesem Kapitel werden folgende Themen besprochen:

Thema	Seite
Überblick	4-1
Über das Tutorial	4-2
Die Funktion des Assembly-Programms	4-4
Zusätzliche Funktionen	4-7
Fehlersuche-Übersicht	4-7
Hinzufügen eines Haltepunktes	4-10
Unterbrechen und in/aus Funktion hinein-/heraussspringen	4-11
Unterbrechen und aus Funktion heraussspringen	4-13
Unterbrechen und in Funktion hineinspringen	4-13
Unterbrechen und Funktionsaufruf überspringen	4-13
Zum Cursor	4-14

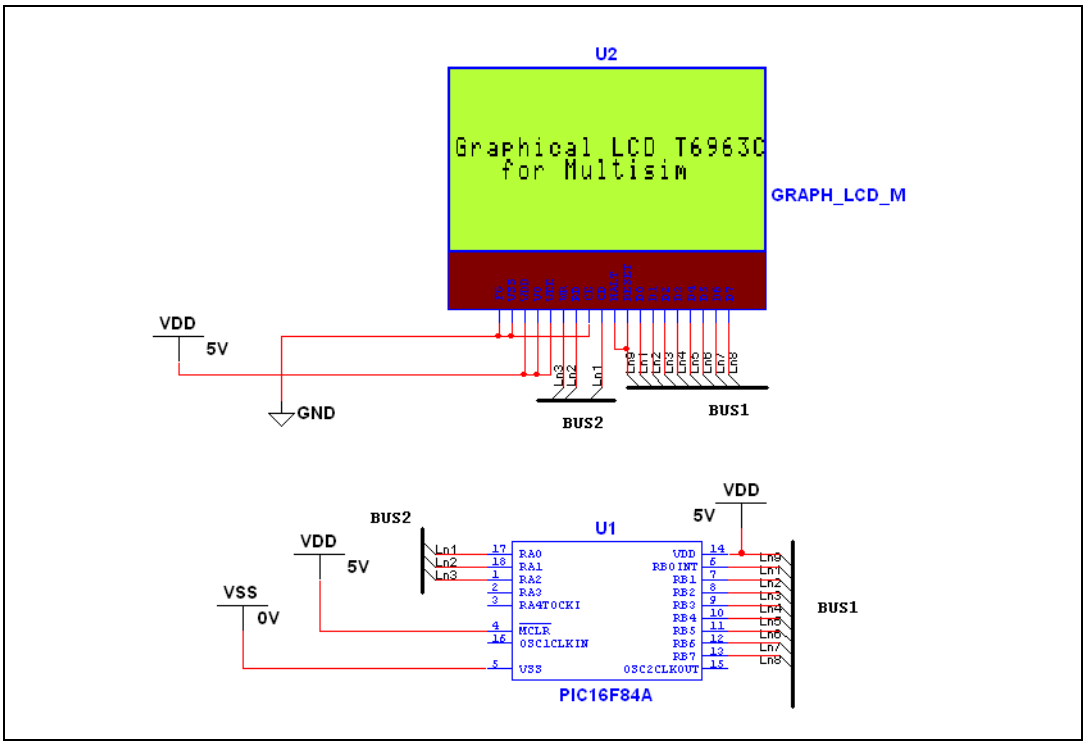
Überblick

Die für diese Tutorial verwendeten Dateien sind zusammen mit Ihrer NI Circuit Design Suite Software installiert unter `. . .\samples\Getting Started .`

Dieses Tutorial verwendet `Getting Started MCU.ms10`, was bei Bedarf auf die Inhalte des Ordners `LCDWorkspace` zugreift.

Das LCD-Grafikdisplay-Schaltungsbeispiel demonstriert den Einsatz eines PIC-Mikrocontrollers zur Steuerung eines grafischen LCD-Displaybauele-

ments in Multisim auf Basis einer Kombination des Toshiba T6963C-Controllers und einem externen Display-RAM. Um das LCD-Display zu steuern, übermittelt der Mikrocontroller Signale über die Daten- und Steuerleitungen an das LCD. Ein für den Mikrocontroller geschriebenes Softwareprogramm bestimmt die Logikpegel für die Leitungen an den Anschlussstiften (High oder Low) zur Übermittlung von Befehlen und Daten an das LCD-Display.



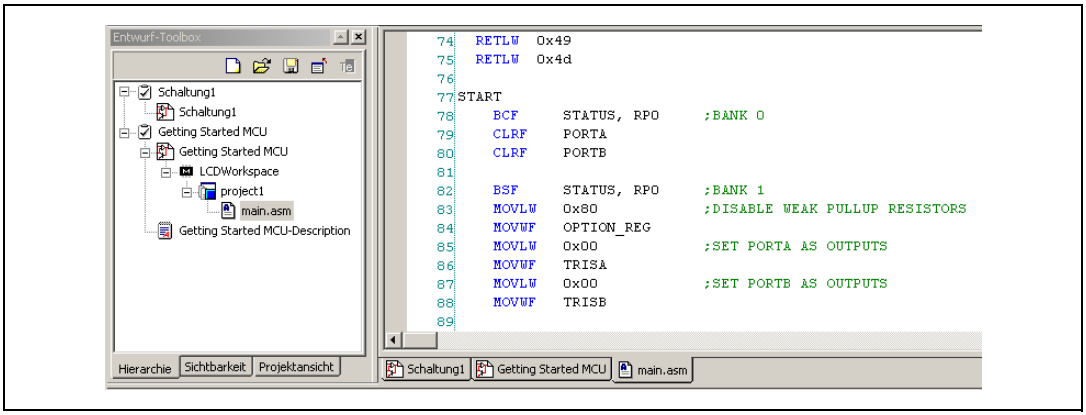
Über das Tutorial

Die Datenleitungen von LCD U2 sind mit den Anschlussstiften RB0 - RB7 von Mikrocontroller U1 verbunden Die Steuerleitungen des LCD sind mit RA0 - RA2 des Mikrocontrollers verbunden. Die MCU U1 kommuniziert mit dem LCD U2 über diese Verbindungen. Die Daten werden parallel zu U2 gesandt und die Signale auf den Steuerleitungen bestimmen Timing und Typ der gesendeten Daten (d.h. Adresse oder Daten).

Das LCD-Grafikdisplay kann in drei verschiedenen Modi arbeiten: Textmodus, grafischer Modus und ein kombinierter Modus aus Text und Grafik. Dieses Beispiel zeigt die Steuerung des LCD-Grafikdisplays im kombinierten Text- und Grafikmodus. Die Software, welche die MCU ausführt, befindet sich in einem MCU-Arbeitsbereich, der in der **Design Toolbox** als `LCDWorkspace` angezeigt wird. Der Arbeitsbereich enthält ein Projekt `Project1` welches aus einer einzelnen Quellkodedatei besteht `main.asm`.

Um die Datei einzusehen, gehen Sie wie folgt vor:

1. Doppelklick auf `main.asm` in der **Design Toolbox**. Im Arbeitsbereich der Schaltungserfassung erscheint eine Registerkarte namens `main.asm`, welche das Assembly-Programm anzeigt.



Um die Zeilennummern anzuzeigen, wählen Sie **MCU»Zeilennummern anzeigen**.

Um die Schaltung auszuführen:

1. Wählen Sie **Simulieren»Ausführen**. Falls Sie Ihr Programm nicht zuvor erstellt haben, erscheint ein Dialogfeld mit dem Hinweis, dass die Konfiguration nicht mehr aktuell ist und fragt Sie nach einer Neuerstellung. Klicken Sie auf **Ja**. Die Ergebnisse der Erstellung werden angezeigt unter der Registerkarte **Ergebnisse** in der **Ansicht als Tabellenkalkulationsdokument**. Werden weder Fehler noch Warnungen angezeigt, war die Programmerstellung erfolgreich. (Das Beispielprogramm sollte keinerlei Fehler enthalten.)

   Das Programm zeigt die Zeile “Grafisches LCD T6963 für Multisim” im Textmodus an; das LCD schaltet dann in den grafischen Modus um und zeichnet ein umgedrehtes “V” Punkt-für-Punkt oben auf den Text.

Sobald die Linien gezeichnet worden sind, scrollt der Text nach rechts und dann nach links. Dies wird durch Verschieben der Startadresse des Textpufferspeichers des LCD-Displays erreicht. Dadurch wird außerdem deutlich, dass sich zwei Pufferspeicher im LCD befinden. Einer für das Speichern von Grafiken und ein anderer für das Speichern von Texten. Weitere Merkmale des LCD wie z.B. Textblinken und Löschen von Zeichen werden ebenfalls dargestellt.

Das LCD-Displayprogramm setzt mit dem Durchlaufen eines jeden dieser Effekte fort.

Um die Simulation anzuhalten, wählen Sie **Simulieren»Stop**.

Die Funktion des Assembly-Programms

Konstanten und Daten

Um das Programm verständlicher zu gestalten, werden die Befehle und temporären Puffer zur Speicherung von Adressen und Daten in der MCU zu Beginn des Programms als Konstanten vordefiniert.

```
DATA_BUFFER           EQU          0x20
DATA_BUFFER2          EQU          0x21
CMD_BUFFER            EQU          0x22
REF_BUFFER            EQU          0x24

ADDR_INDEX            EQU          0x25                ;STARTING ADDRESS IN EEPROM
ADDR_L                EQU          0x26                ;STARTING ADDRESS L
ADDR_H                EQU          0x27                ;STARTING ADDRESS H
COUNTER_INDEX         EQU          0x29                ;COUNTER
BIT_INDEX             EQU          0x2A                ;BIT INDEX

CMD_SET_CURSOR EQU    21H          ;SET CURSOR
CMD_TXHOME            EQU    40H   ;SET TXT HM ADD
CMD_TXAREA            EQU    41H   ;SET TXT AREA
CMD_GRHOME            EQU    42H   ;SET GR HM ADD
CMD_GRAREA            EQU    43H   ;SET GR AREA
CMD_OFFSET            EQU    22H   ;SET OFFSET ADD
CMD_ADPSET            EQU    24H   ;SET ADD PTR
CMD_SETDATA_INC       EQU    0C0H  ;WRITE DATA AND INCREASE ADP
CMD_AWRON             EQU    0B0H  ;SET AUTO WRITE MODE
CMD_AWROFF            EQU    0B2H  ;RESET AUTO WRITE MODE
```

Der auf dem LCD-Display anzuzeigende Text wird für einige Mikrocontroller in Datentabelle abgelegt, es gibt allerdings keine PIC-Assemblyanweisung, die es Ihnen gestatten würde, direkt auf einen Datenwert im Speicherbereich des Programms zuzugreifen. Stattdessen besteht die Möglichkeit literale Werte in das W-Register zu laden, sodass Sie eine Routine schreiben können, die auf Basis eines Index in Ihrem String einen Wert ausgibt. Die RETLW-Anweisung lädt einen konstanten Wert in das W-Register und führt eine Return-in-One-Anweisung durch.

Die TXPRT-Routine ruft die auf dem LCD-Display anzuzeigenden Textdaten ab. Die Zeichenkodes des LCD-Displays sind im T6963C-Controller-Referenzhandbuch festgehalten (z.B. `0x27` steht als Kode für den Buchstaben “G”, `0x52` für “r” und so weiter:

```
;  DATA
DATA_NUM              EQU     23H
TXPRT                 ; Text data "Grapical LCD T6963C   for Multisim"
  ADDWF  PCL, 1
  RETLW  0x27
  RETLW  0x52
  RETLW  0x41
  RETLW  0x50
  RETLW  0x48
  RETLW  0x49
  RETLW  0x43
  RETLW  0x41
  RETLW  0x4c
  RETLW  0x00
  RETLW  0x2C
  …
```

Initialisierung

Der Initialisierungskode beginnt an der `START`-Beschriftung so, wie im Auszug unten gezeigt. Die Anschlussstifte im Mikrocontroller sind als Ausgabe-Anschlussstifte konfiguriert und die Werte zurückgestellt. Das LCD-Display-Bauelement wird durch den Mikrocontroller initialisiert und auf Grafik- und Textmodus gestellt. Die Spuradresse für die internen Grafik- und Textpufferspeicher im LCD-Display-Bauelement werden auf `0x0000` bzw. `0x2941` eingestellt, wodurch festgelegt ist, wo auf dem Display das LCD mit der Anzeige der Pufferspeicherdaten beginnt. Schließlich werden die Steuersignale noch für den geeigneten Schreib-/Lesezugriff auf dem LCD-Display eingestellt.

```
START
        BCF     STATUS, RP0             ;BANK 0
        CLRF    PORTA
        CLRF    PORTB

        BSF     STATUS, RP0             ;BANK 1
        MOVLW   0x80                    ;DISABLE WEAK PULLUP RESISTORS
        MOVWF   OPTION_REG
        MOVLW   0x00                    ;SET PORTA AS OUTPUTS
        MOVWF   TRISA
        MOVLW   0x00                    ;SET PORTB AS OUTPUTS
        MOVWF   TRISB

        BCF     STATUS, RP0             ;BANK 0
        MOVLW   0x0F                    ; 1111 no commands ready
        MOVWF    PORTA

;1 SET DISPLAY MODE to GRAPH + TEXT mode, cursor off
        MOVLW   0x9C
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD
…
```

Zeichnen von Text und Grafiken

Die übrigen Programmanteile senden Befehle über die Steuerleitungen durch die MCU-Anschlussstifte RA0 bis RA2 an das LCD-Grafikdisplay sowie Daten über die Datenleitungen:

```
;5 write string
        MOVLW   0x7D
        MOVWF   DATA_BUFFER
        MOVLW   0x29
        MOVWF   DATA_BUFFER2   ; external CG start at: 1400h
        CALL    DT2
        MOVLW   CMD_ADPSET
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD

        MOVLW   CMD_AWRON
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD

        MOVLW   0x00                    ; Initial the counter
        MOVWF   ADDR_INDEX

LOOP_READ_DATA2
        MOVF    ADDR_INDEX,0   ; STARTING data ADDRESS
        CALL     TXPRT

        MOVWF   DATA_BUFFER             ; LOAD CHAR data TO W
        CALL    ADT

        INCF    ADDR_INDEX,1

        MOVF    ADDR_INDEX, 0
        SUBLW   DATA_NUM                ; 35 chars
        BTFSS   STATUS, Z
        GOTO    LOOP_READ_DATA2

        MOVLW   CMD_AWROFF
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD
…
```

Zum Beispiel übermittelt der oben gezeigte Auszug aus der Hauptschleife des Programms die in der `TXPRT`-Subroutine definierten Zeichen zur Anzeige im Textmodus auf dem grafischen LCD.

Folgendes setzt das LCD auf Auto-Schreibmodus:

```
MOVLW                   CMD_AWRON
MOVWF                   CMD_BUFFER
CALL                    CMD
```

An diesem Punkt beginnt das Programm zu zählen und führt die folgende Schleife `LOOP_READ_DATA2` 35 Mal aus. Diese Schleife ruft `TXPRT` auf, um die Textdaten abzurufen und diese in das W-Register zu laden. Dann ruft es die Subroutine `ADT` auf, welche wiederum `SEND_DATA` aufruft, was die Werte im W-Register nach Port B sendet, sodass diese an die Datenleitungen des LCD-Displays übermittelt werden können. Sobald die Daten gesendet wurden, wird der Eigenwert von Port A des Mikrocontrollers an

die Steueranschlussstifte des LCD-Displays übertragen, um damit zu melden, dass die Daten gelesen werden können. Die Subroutinen kehren nach ihrem Aufruf am Ende zur Anweisung zurück. Das passiert so lange, bis alle 35 Zeichen übermittelt wurden. Die letzten drei Anweisungen des Auszugs schalten den Auto-Schreibmodus im LCD-Display nach Verlassen der Schleife aus:

```
MOVLW                   CMD_AWROFF
MOVWF                   CMD_BUFFER
CALL                    CMD
```

Die nächsten wenigen Anweisungen zeichnen die horizontalen und schrägen Linien im Grafikmodus:

```
;6 Welle einmal zeichnen

MOVF                    ADDR_L, 0
BTFSC                   STATUS, Z
CALL                    DRAW_WAVE
```

Zusätzliche Funktionen

Dieser Abschnitt enthält eine Schritt-für-Schritt-Beschreibung der Fehlersuchfunktion des Multisim-MCU-Moduls. Es ist wichtig, diese Schritte genau zu befolgen, da die Anleitung ansonsten ihre Gültigkeit verliert. Sobald Sie einmal den Haltepunkt und die Einzelschrittverfahren verstanden haben, können Sie sich mit den Möglichkeiten der erweiterten MCU-Fehlersuche befassen.

Fehlersuche-Übersicht

Um ein Programm für einen Mikrocontroller entweder in C oder im Assembly-Modus zu schreiben, erstellen Sie zunächst Quellkodedateien (`.asm`, `.inc`, `.c`, `.h`) als Teil des MCU-Arbeitsbereiches, welche dann wiederum in der Quellkodeansicht bearbeitet werden können.

Zur Quellkodeansicht:

1. Doppelklick auf das Dateiobjekt (z.B., `main.asm`) in der MCU-Arbeitsbereichshierarchie in der **Design Toolbox**.

Während der Simulation helfen Ihnen die angezeigten zusätzlichen Fehlersuchinformationen, zu verstehen, was innerhalb der MCU geschieht. Zum Beispiel können Sie umschalten zwischen der Ansicht von Vorgängen in einer Hochpegel-Quelle und auf Ebene der Assembly-Anweisung, wo

außerdem die tatsächlichen Opcodes für jede durch die MCU ausgeführte Anweisung angezeigt werden.

Die Quellkodeansicht kann all diese Zusatzinformationen nicht anzeigen. Stattdessen verfügt jedes MCU-Bauelement innerhalb des Schaltungsentwurfs über eine eigene **Fehlersucheansicht**, in der Fehlersuchinformationen angezeigt werden.

Zum Aufrufen dieser **Fehlersucheansicht**:

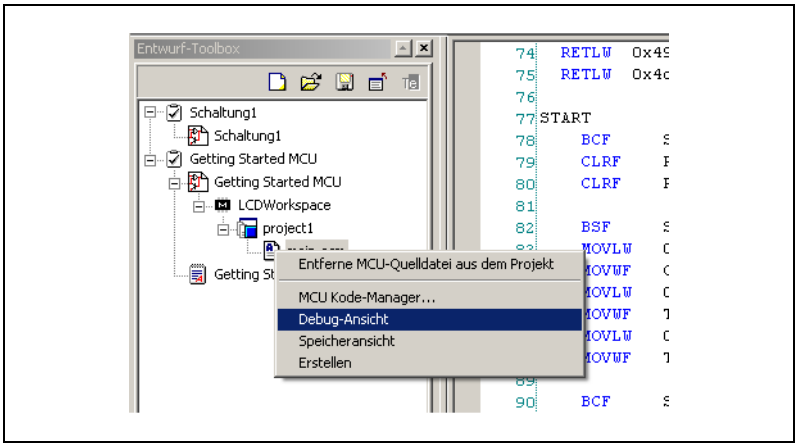
1. Wählen Sie **MCU»MCU PIC 16F84A U1»Build**.

Hinweis Die **Fehlersuchansicht** ist nur dann verfügbar, wenn Sie Ihren Kode erfolgreich erstellt haben, sodass der vorangehende Schritt nur einmal notwendig ist.

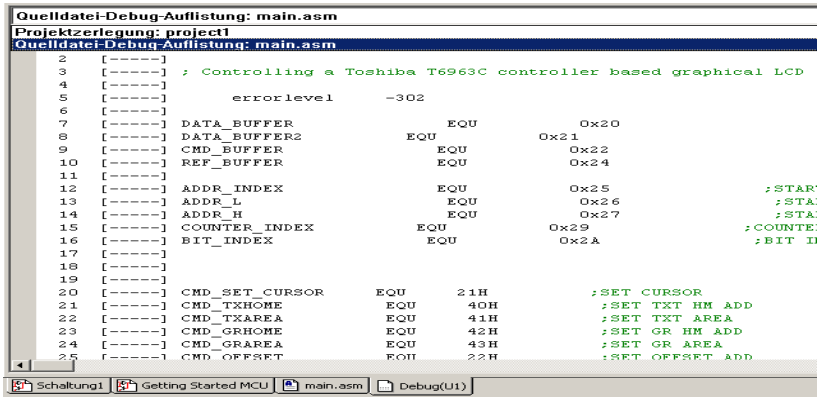
2. Wählen Sie **MCU»MCU PIC 16F84A U1»Fehlersucheansicht**.

   ODER-Verknüpfung

   Verwenden Sie das Kontextmenü der rechten Maustaste für Objekte des MCU-Arbeitsbereichs der **Design Toolbox**.



Es öffnet sich eine weitere Registerkarte im Arbeitsbereich der Schaltungserfassung namens **Fehlersuche(<Referenzbezeichner von MCU>),** in diesem Fall **Fehlersuche(U1)**.



Verwenden Sie die Dropdown-Liste im oberen Bereich der **Fehlersucheansicht**, um zwischen den Disassembly-Anweisungen, die intern durch Multisim erzeugt wurden, oder der durch den Assembler oder Compiler erzeugten Auflistungsdatei auswählen zu können (das Format der Auflistungsdatei ist abhängig von dem Werkzeug, das Sie zum Erstellen Ihres Kodes benötigen).

Im Beispiel des LCD-Grafikdisplays wurde der Kode im Assemblymodus geschrieben und mithilfe der Mikrochip-Assembly-Tools erstellt. Der Mikrochip-Assembler erzeugt eine Auflistungsdatei (`.lst`) mit all den Opcodes, die für jede Assembly-Anweisung erzeugt wurden. Die Fehlersuche-Auflistungsansicht zeigt Informationen zu dieser Auflistungsdatei an. Multisim erzeugt das Disassembly-Format mithilfe seines internen Disassemblers, um die Opcode-Anweisungen in Assembly-Anweisungen zu zerlegen.

Dieses Format ist für dieses Beispiel nicht notwendig, weil die Fehlersuche-Auflistung bereits alle erforderlichen Informationen enthält. In den Fällen, wo ein MCU-Projekt nur die Maschinenkode (`.hex`)-Datei lädt, zeigt die Disassembly-Ansicht die aufgeschlüsselten Opcode-Anweisungen, sodass erkennbar wird, was innerhalb der MCU vor sich geht. Die Disassembly-Ansicht ist sehr nützlich, da für MCU-Projekte dieses Typs keine Auflistungsdatei verfügbar ist.

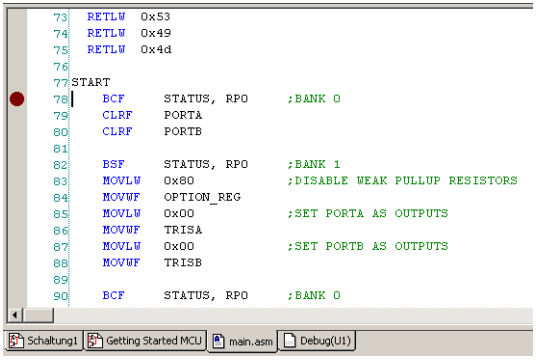
Hinzufügen eines Haltepunktes

Sie können in der Quellkodeansicht sowohl bei angehaltener als auch bei laufender Simulation Haltepunkte hinzufügen. Haltepunkte können einem Mikrocontroller auf zwei Arten hinzugefügt werden.

Ein Weg dabei ist, die Haltepunkte in der Quellkodeansicht hinzuzufügen. In diesem Beispiel ist die Registerkarte `main.asm` im Arbeitsbereich der Schaltungserfassung die einzig verfügbare Quellkodeansicht.

Hinweis Wenn Ihr MCU-Entwurf mehr als eine Datei enthält, so ist für jede Ihrer Quellkodedateien eine Quellkodeansicht verfügbar.

Sie können außerdem einen Haltepunkt im Fenster **Fehlersuche-Ansicht** definieren. Sie können Haltepunkte in der Disassembly-Ansicht oder der Fehlersuche-Auflistungsansicht definieren. In diesem Beispiel jedoch benötigen Sie lediglich die Fehlersuche-Auflistungsansicht.



Um einen Haltepunkt in der Quellkodeansicht hinzuzufügen:

1. Erstellen Sie den MCU-Arbeitsbereich.
2. Öffnen Sie **Fehlersuche-Ansicht** für U1.
3. Doppelklick auf `main.asm` in der **Design Toolbox**.
4. Scrollen Sie bis zur Zeile direkt unterhalb der START-Beschriftung: `BCF STATUS, RP0`.
5. Doppelklicken Sie auf die erste (graue) Spalte auf der linken Seite des `main.asm`-Fensters neben der Zeile `BCF STATUS, RP0`. Es erscheint ein roter Kreis an dieser Stelle, der signalisiert, dass an dieser Zeile ein Haltepunkt gesetzt wurde.

6. Wählen Sie **Simulieren»Ausführen**. Die Simulation unterbricht automatisch an der Stelle, wo sie den Haltepunkt gesetzt haben. Die **Fehlersuche-Ansicht** springt nun automatisch in den Fokus, dabei weist ein gelber Pfeil dorthin, wo die MCU-Programmausführung unterbrochen wurde.

Um den Haltepunkt wieder zu entfernen:

1. Führen Sie einen Doppelklick auf die **Fehlersuche-Ansicht** oder die `main.asm`-Quellkodeansicht aus.

   ODER-Verknüpfung

   Wählen Sie **MCU»alle Haltepunkte entfernen**, um alle Haltepunkte zu entfernen.

Hinweis Sie können Haltepunkte über die **Fehlersuch-Ansicht** auf dieselbe Weise hinzufügen und entfernen wie in der Quellkodeansicht.

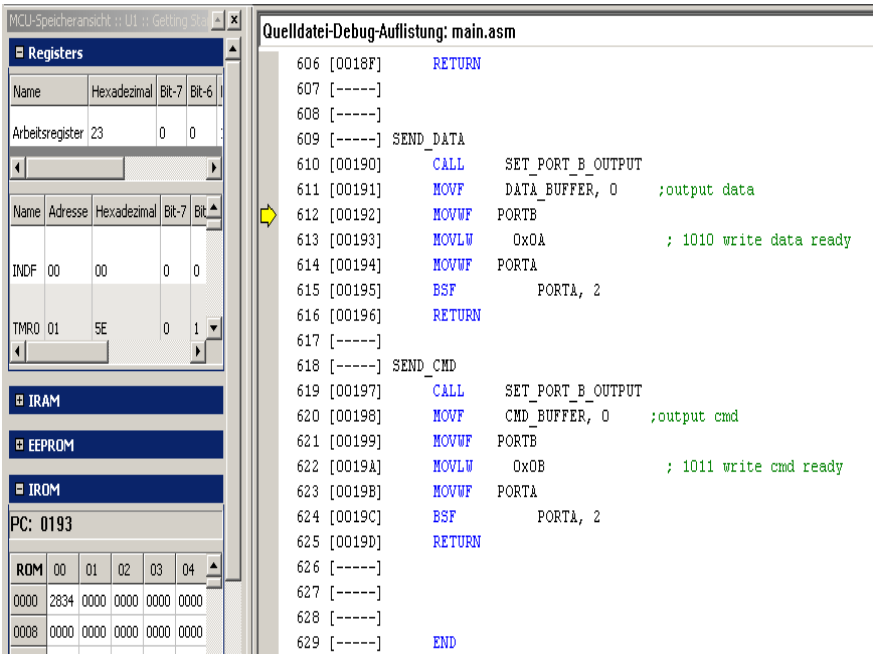
Unterbrechen und in/aus Funktion hinein-/herausspringen

1. Wählen Sie **MCU»alle Haltepunkte entfernen**, um alle Haltepunkte zu entfernen.

2. Rufen Sie die Schaltungs-Entwurfsansicht auf (**Erste Schritte MCU** Registerkarte) und wählen Sie **Simulieren»Ausführen**. Die Wörter “Grafisches LCD T6963CC für Multisim” erscheinen auf dem grafischen LCD-Bauelement.

3. Wählen Sie **Simulieren»Unterbrechen**.

4. Rufen Sie die **Fehlersuche-Ansicht** für U1 auf. Sie werden feststellen, dass die Kodezeile in der Fehlersuche-Auflistungsansicht, dort, wo die MCU die Ausführung angehalten hat, in der äußerst linken Spalte durch einen gelben Pfeil gekennzeichnet ist.



5. Wählen Sie **MCU»MCU PIC16F84A U1»Speicheransicht**, um den aktuellen Status des Speichers im Mikrocontroller U1 anzuzeigen. Bitte beachten Sie, dass der Wert des Programmzählers PC des **IROM**-Abschnitts um eins höher liegt, als der Adresswert der Zeile, auf die der gelbe Pfeil hinweist. (Wie oben gezeigt hat die Adresse in der **Fehlersuche-Ansicht** den Wert 192 und der PC-Wert in der **Speicheransicht** beträgt 193).

Hinweis Falls die MCU zum Zeitpunkt der Simulationsunterbrechung den aktuellen Befehl noch nicht vollständig ausgeführt hat, bleibt der Wert im Programmzähler derselbe wie der Adresswert.

Sie können sich auch die anderen Abschnitte der **Speicheransicht** ansehen, um die Werte in den anderen Teilen des Speichers im Mikrocontroller zu erfahren.

6. Klicken Sie auf die Schaltfläche **In Funktion hineinspringen** in der **Simulations**-Werkzeugleiste.
7. Die aktuelle Anweisung wird ausgeführt und die Simulation bei der nächsten Anweisung unterbrochen.

8. Wählen Sie **Simulieren»Anhalten**.

Unterbrechen und aus Funktion herausspringen

1. Setzen Sie einen Haltepunkt in der `SEND_DATA`-Subroutine unter `MOVWF PORTB`.

2. Wählen Sie **Simulieren»Ausführen**. Die Simulation unterbricht am Haltepunkt.

3. Klicken Sie die Schaltfläche **Aus Funktion herausspringen** in der **Simulations**-Werkzeugleiste, um aus der `SEND_DATA`-Subroutine zu gelangen.
4. Die Simulation führt alle verbleibenden Anweisungen in der `SEND_DATA`-Subroutine aus und unterbricht bei der ersten Anweisung nach dem Aufruf der `SEND_DATA`-Subroutine.

Unterbrechen und in Funktion hineinspringen

1. Wählen Sie **MCU»alle Haltepunkte entfernen**.
2. Setzen Sie einen Haltpunkt beim Aufruf von `SEND_DATA`, dort, wo Sie soeben unmittelbar über dem gelben Pfeil herausgesprungen sind.

3. Wählen Sie **Simulieren»Ausführen**. Die Simulation unterbricht dort, wo Sie soeben den Haltepunkt gesetzt haben.

4. Klicken Sie auf die Schaltfläche **In Funktion hineinspringen** in der **Simulations**-Werkzeugleiste. Die Simulation unterbricht in der `SEND_DATA`-Subroutine.

Unterbrechen und Funktionsaufruf überspringen

1. Wählen Sie **Simulieren»Ausführen**. Die Simulation unterbricht an demselben Haltepunkt, den Sie zuvor beim Aufruf der Subroutine `SEND_DATA` gesetzt haben.

2. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Funktionsaufruf überspringen** in der **Simulations**-Werkzeugleiste. Die gesamte `SEND_DATA`-Subroutine wird ausgeführt und die Simulation unterbricht bei der Anweisung nach der `CALL_SEND_DATA`-Anweisung.

Zum Cursor

1. Wählen Sie **MCU»alle Haltepunkte entfernen**.
2. Klicken Sie auf eine Zeile in der `SEND_DATA`-Subroutine, da diese Subroutine nochmals aufgerufen werden wird, um Daten an das LCD-Display zu übermitteln.

3. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Zum Cursor** in der **Simulations**-Werkzeugleiste. Die Simulation wird ausgeführt, bis die MCU auf die Zeile mit der Anweisung trifft, die Sie in der `SEND_DATA`-Subroutine angeklickt haben. Dann folgt die Unterbrechung und der gelbe Pfeil wird neben dieser Zeile platziert.

A

Technische Unterstützung und professioneller Service

Für professionelle Serviceleistungen und technische Unterstützung lesen Sie bitte auf unserer Website `ni.com` unter folgenden Kategorien nach:

- **Support**: Auf `ni.com/support` gibt es folgende Informationsquellen zur technischen Unterstützung:
  - **Hilfe zur Selbsthilfe**: Die preisgekrönte Website von National Instruments bietet unter anderem Treiber und Updates, eine umfassende Informationsdatenbank (KnowledgeBase), Bedienungsanleitungen, Anleitungen zur Fehlersuche, Tausende Beispielprogramme, Lernhilfen, Application Notes und Gerätetreiber.
  - **Kostenlose technische Unterstützung**: Alle registrierten Benutzer können den kostenlosen Basis-Support in Anspruch nehmen, der unter anderem auch den Zugriff auf Diskussionsforen von National Instruments auf `ni.com/forums` einschließt, in denen Sie sich bei Problemen mit Hunderten Applikationsingenieuren weltweit austauschen können. Die Applikationsingenieure von National Instruments sorgen dafür, dass alle Ihre Fragen beantwortet werden.

    Welche Art der technischen Unterstützung es in Ihrer Nähe gibt, erfahren Sie unter `ni.com/services` oder indem Sie sich mit einer Niederlassung von National Instruments in Ihrer Nähe in Verbindung setzen (`ni.com/contact`).
- **Schulung und Zertifizierung**: Auf `ni.com/training` finden Sie Lernhandbücher, virtuelle Schulungsräume, Übungs-CDs und Informationen über Lernprogramme mit Abschlusszertifikat. Hier können Sie sich auch für eine der weltweit angebotenen Software-Schulungen anmelden.

- **System-Integration**: Wenn Sie aus Zeit-, Personalmangel oder anderen Gründen bei der Fertigstellung eines Projekts in Verzug geraten, können Ihnen die Mitglieder des NI-Alliance-Programms weiterhelfen. Für Informationen zu diesem Programm setzen Sie sich entweder telefonisch mit einer National-Instruments-Niederlassung in Ihrer Nähe in Verbindung oder besuchen Sie die Website `ni.com/alliance`.

Sollten Sie nach dem Besuch unserer Internetseite `ni.com` immer noch offene Fragen haben, wenden Sie sich bitte an eine Niederlassung von National Instruments in Ihrer Nähe. Die Telefonnummern aller Niederlassungen finden Sie am Anfang dieses Handbuchs. Auf die Internetseiten der einzelnen Niederlassungen, auf denen Sie immer die aktuellen Kontaktinformationen, Telefonnummern des technischen Supports, E-Mail-Adressen sowie aktuelle Ereignisse und Veranstaltungen finden, gelangen Sie über `ni.com/niglobal`.

Stichwortverzeichnis

Zahlen

3D-Entwürfe in Ultiboard, 3-24

A

Analyse, 2-13
Assembly-Programm, 4-4
Automatische Leiterbahnführung, 3-20
Automatisches Platzieren, 3-19

B

Beispiele (von National Instruments), A-1
Berichte, 2-15
BOM - Stückliste, 2-15

C

Connection-Machine-Leiterbahn, 3-18

D

Diagnoseprogramme (von National Instruments), A-1
Dokumentation
    In diesem Handbuch verwendete Symbole und Darstellungen, *v*
    NI-Informationsquellen, A-1

E

erweiterte MCU-Fehlersuche, 4-7
Export von Dateien von Ultiboard, 3-23

F

Fehlersuche (Hilfsmittel von National Instruments), A-1
Fenster für die Diagrammerstellung, 2-14
Follow-me-Leiterbahn, 3-17

G

Gerätetreiber (von National Instruments), A-1

H

Haltepunkt, 4-10
Herstellung/Bestückung, 3-22
Hilfe
    technischer Support, A-1

I

In diesem Handbuch verwendete Symbole und Darstellungen, *v*

K

Kalibrierungszertifikat (von National Instruments), A-2
KnowledgeBase, A-1
Kommentare, 3-23
Konformitätserklärung, A-2

L

Leiterplatten-Clean-Up, 3-22
Leiterplattenumriss, 3-3

M

Manuell platzierte Leiterbahn, 3-14
MCU-Fehlersuche-Übersicht, 4-7
MCU-Tutorial, 4-2
MCU-Tutorial-Überblick, 4-1

O

Öffnen des Ultiboard-Tutorials, 3-2
Öffnen von Multisim-Dateien, 2-3
Online-Informationsquellen, A-1

P

passive Bauteile mit zwei Anschlüssen
direkt auf eine Verbindung platzieren, 2-8
Platzieren von Bauelementen in Multisim, 2-4
Platzieren von Bauelementen in Ultiboard, 3-6, 3-9
Platzieren von Leiterbahnen in Ultiboard, 3-13
Platzieren von Ultiboard-dB-Bauteilen, 3-10
Postprozessor-, 2-15
Produkte, 1-1
Programmierbeispiele (von National Instruments), A-1

S

Schaltungserfassung, 2-3
Schulungen und Zertifikate (von National Instruments), A-1
Simulation, 2-11
Software (von National Instruments), A-1
Speichern von Multisim-Dateien, 2-3
Stückliste, 2-15
Support
technisch, A-1
Support und Serviceleistungen von National Instruments, A-1

T

technischer Support, A-1
Treiber (von National Instruments), A-1
Tutorial-Beschreibung, 1-2

U

Überblick Multisim-Tutorial, 2-2
Unterbrechen und aus Funktion herausspringen, 4-13
Unterbrechen und Funktionsaufruf überspringen, 4-13
Unterbrechen und in Funktion hineinspringen, 4-13
Unterbrechen und in/aus Funktion hinein-/herausspringen, 4-11

V

Verbinden der Bauelemente in Multisim, 2-8
Verschieben von Bauelementen in Ultiboard, 3-12
Virtuelle Instrumente, 2-11

Z

Ziehen von Bauelementen, 3-7, 3-9
Zum Cursor, 4-14

NI Circuit Design Suite

NI Circuit Design Suite スタートアップガイド

2007 年 06 月
374482B-0112

NATIONAL INSTRUMENTS™
ELECTRONICS WORKBENCH GROUP

技術サポートのご案内
www.ni.com/support/jp

日本ナショナルインスツルメンツ株式会社
〒 105-0011 東京都港区芝公園 2-4-1 ダヴィンチ芝パーク A 館 4F Tel：0120-108492

National Instruments Corporation
11500 North Mopac Expressway Austin, Texas 78759-3504 USA Tel: 512 683 0100

海外オフィス
イスラエル 972 3 6393737、イタリア 39 02 413091、インド 91 80 41190000、英国 44 0 1635 523545、
オーストラリア 1800 300 800、オーストリア 43 662 457990-0、オランダ 31 (0) 348 433 466、
カナダ 800 433 3488、韓国 82 02 3451 3400、シンガポール 1800 226 5886、スイス 41 56 2005151、
スウェーデン 46 (0) 8 587 895 00、スペイン 34 91 640 0085、スロベニア 386 3 425 42 00、
タイ 662 278 6777、台湾 886 02 2377 2222、中国 86 21 5050 9800、チェコ 420 224 235 774、
デンマーク 45 45 76 26 00、ドイツ 49 89 7413130、トルコ 90 212 279 3031、
ニュージーランド 0800 553 322、ノルウェー 47 (0) 66 90 76 60、フィンランド 385 (0) 9 725 72511、
フランス 01 57 66 24 24、ベルギー 32 (0) 2 757 0020、ブラジル 55 11 3262 3599、
ポーランド 48 22 3390150、ポルトガル 351 210 311 210、マレーシア 1 800 887710、
南アフリカ 27 0 11 805 8197、メキシコ 01 800 010 0793、レバノン 961 (0) 1 33 28 28、
ロシア 7 495 783 6851

サポート情報の詳細については、「技術サポートおよびプロフェッショナルサービス」を参照してください。ナショナルインスツルメンツのドキュメントに関してご意見をお寄せいただく場合は、ナショナルインスツルメンツのウェブサイト、ni.com/jp の右上にある Info Code に feedback とご入力ください。

© 2006–2007 National Instruments Corporation. All rights reserved.

必ずお読みください

保証

NIのソフトウェア製品が記録されている媒体は、素材および製造技術上の欠陥によるプログラミング上の問題に対して、受領書などの書面によって示される出荷日から90日間保証致します。NIは、保証期間中にこのような欠陥の通知を受け取った場合、弊社の裁量により、プログラミングの指示どおりに実行できないソフトウェア媒体を修理、交換致します。NIは、ソフトウェアの操作が中断されないこと、および欠陥のないことを保証致しません。

お客様は、保証の対象となる製品をNIに返却する前に、返品確認(RMA: Return Material Authorization)番号をNIから取得し、パッケージ外に明記する必要があります。NIは、保証が及んでいる部品をお客様に返却する輸送費を負担いたします。

本書の内容については万全を期しており、技術的内容に関するチェックも入念に行っております。技術的な誤りまたは誤植があった場合、NIは、本書を所有するお客様への事前の通告なく、本書の次の版を改訂する権利を有します。誤りと思われる個所がありましたら、NIへご連絡ください。NIは、本書およびその内容により、またはそれに関連して発生した損害に対して、一切責任を負いません。

NIは、ここに記載された以外、明示または黙示の保証は致しません。特に、商品性または特定用途への適合性に関する保証は致しません。NI側の過失または不注意により発生した損害に対するお客様の賠償請求権は、お客様が製品に支払われた金額を上限とします。NIは、データの消失、利益の損失、製品の使用による損失、付随的または間接的損害に対して、その損害が発生する可能性を通知されていた場合でも、一切の責任を負いません。NIの限定保証は、訴訟方式、契約上の責任または不法行為に対する責任を問わず、過失責任を含め、適用されます。NIに対する訴訟は、訴訟原因の発生から1年以内に提起する必要があります。NIは、NIの合理的に管理可能な範囲を超えた原因により発生した履行遅延に関しては一切の責任を負いません。所有者がインストール、操作、保守に関するNIの指示書に従わなかったため、所有者による製品の改造、乱用、誤用、または不注意な行動、さらに停電、サージ、火災、洪水、事故、第三者の行為、その他の合理的に管理可能な範囲を超えた事象により発生した損害、欠陥、動作不良またはサービスの問題については、本書に定める保証の対象となりません。

著作権

著作権法に基づき、National Instruments Corporation（米国ナショナルインスツルメンツ社）の書面による事前の許可なく、本書のすべてまたは一部を写真複写、記録、情報検索システムへの保存、および翻訳を含め、電子的または機械的ないかなる形式によっても複製または転載することを禁止します。

National Instrumentsは他者の知的財産を尊重しており、お客様も同様の方針に従われますようお願いいたします。NIソフトウェアは著作権法その他知的財産権に関する法律により保護されています。NIソフトウェアを用いて他者に帰属するソフトウェアその他のマテリアルを複製することは、適用あるライセンスの条件その他の法的規制に従ってそのマテリアルを複製できる場合に限り可能であるものとします。

BSIM3 and BSIM4 are developed by the Device Research Group of the Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley and copyrighted by the University of California.

The ASM51 cross assembler bundled with Multisim MCU is a copyrighted product of MetaLink Corp. (`www.metaice.com`).

MPASM™ macro assembler and related documentation and literature is reproduced and distributed by Electronics Workbench under license from Microchip Technology Inc. All rights reserved by Microchip Technology Inc. MICROCHIP SOFTWARE OR FIRMWARE AND LITERATURE IS PROVIDED "AS IS," WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL MICROCHIP BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR FIRMWARE OR THE USE OF OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE OR FIRMWARE.

商標

National Instruments、NI、ni.com、およびLabVIEWはNational Instruments Corporation（米国ナショナルインスツルメンツ社）の商標です。National Instrumentsの商標の詳細については、`ni.com/legal`の「Terms of Use」セクションを参照してください。

本文書中に記載されたその他の製品名および企業名は、それぞれの企業の商標または商号です。

ナショナルインスツルメンツ・アライアンスパートナー・プログラムのメンバーはナショナルインスツルメンツより独立している事業体であり、ナショナルインスツルメンツと何ら代理店、パートナーシップまたはジョイント・ベンチャーの関係にありません。

特許

National Instrumentsの製品を保護する特許については、ソフトウェアに含まれている特許情報（**ヘルプ→特許情報**）、CDに含まれている`patents.txt`ファイル、または`ni.com/patents`のうち、該当するリソースから参照してください。

National Instruments Corporation 製品を使用する際の警告

(1) National Instruments Corporation（以下「NI」という）の製品は、外科移植またはそれに関連する使用に適した機器の備わった製品として、または動作不良により人体に深刻な障害を及ぼすおそれのある生命維持装置の重要な機器として設計されておらず、その信頼性があるかどうかの試験も実行されていません。

(2) 上記を含むさまざまな用途において、不適切な要因によってソフトウェア製品の操作の信頼性が損なわれるおそれがあります。これには、電力供給の変動、コンピュータハードウェアの誤作動、コンピュータのオペレーティングシステムソフトウェアの適合性、アプリケーション開発に使用したコンパイラや開発用ソフトウェアの適合性、インストール時の間違い、ソフトウェアとハードウェアの互換性の問題、電子監視・制御機器の誤作動または故障、システム（ハードウェアおよび/またはソフトウェア）の一時的な障害、予期せぬ使用または誤用、ユーザまたはアプリケーション設計者の側のミスなどがありますが、これに限定されません（以下、このような不適切な要因を総称して「システム故障」という）。システム故障が財産または人体に危害を及ぼす可能性（身体の損傷および死亡の危険を含む）のある用途の場合は、システム故障の危険があるため、1つの形式のシステムにのみ依存すべきではありません。損害、損傷または死亡といった事態を避けるため、ユーザまたはアプリケーション設計者は、適正で慎重なシステム故障防止策を取る必要があります。これには、システムのバックアップまたは停止が含まれますが、これに限定されません。各エンドユーザのシステムはカスタマイズされ、NIのテスト用プラットフォームとは異なるため、そしてユーザまたはアプリケーション設計者が、NIの評価したことのない、または予期していない方法で、NI製品を他の製品と組み合わせて使用する可能性があるため、NI製品をシステムまたはアプリケーションに統合する場合は、ユーザまたはアプリケーション設計者が、NI製品の適合性を検証、確認する責任を負うものとします。これには、このようなシステムまたはアプリケーションの適切な設計、プロセス、安全レベルが含まれますが、これに限定されません。

表記規則

本書では以下の表記規則を使用します。

→　矢印（**→**）は、ネスト化されているメニュー項目やダイアログボックスのオプションをたどっていくと目的の操作項目を選択できることを示します。たとえば、**ファイル→ページ設定→オプション**となっている場合は、**ファイル**メニューをプルダウンして、**ページ設定**項目を選択し、最後のダイアログボックスから**オプション**を選択します。

　このアイコンは、ユーザへのアドバイスを表しています。

　このアイコンは、注意すべき重要な情報があることを示しています。

太字　太字のテキストは、メニュー項目やダイアログボックスのオプションなど、ソフトウェアで選択またはクリックする必要がある項目を表します。太字のテキストは、パラメータ名も表します。

斜体　斜体のテキストは、変数、強調、相互参照、または重要な概念の説明を示します。また、ユーザが入力する必要がある語または値のプレースホルダも示します。

`monospace`　このフォントのテキストは、キーボードから入力する必要があるテキストや文字、コードの一部、プログラムサンプル、構文例を表します。また、ディスクドライブ、パス、ディレクトリ、プログラム、サブプログラム、サブルーチンなどの名称、デバイス名、関数、操作、変数、ファイル名および拡張子の引用にも使用されます。

目次

第 1 章
NI Circuit Design Suite の概要

NI Circuit Design Suite の製品ライン 1-1
チュートリアル 1-2

第 2 章
Multisim チュートリアル

概要 2-1
回路図キャプチャ 2-2
ファイルを開いて保存する 2-3
コンポーネントを配置する 2-3
回路を配線する 2-7
シミュレーション 2-9
仮想計測器 2-9
解析 2-11
グラファ 2-12
後処理 2-12
レポート 2-13
材料表 2-13

第 3 章
Ultiboard チュートリアル

チュートリアルを開く 3-2
ボードアウトラインを作成する 3-3
コンポーネントを配置する 3-6
ボードアウトラインの外側からコンポーネントをドラッグする 3-6
部品タブからコンポーネントをドラッグする 3-7
チュートリアルのコンポーネントを配置する 3-8
データベースから部品を配置する 3-9
コンポーネントを移動する 3-10
トレースを配置する 3-11
手動トレースを配置する 3-12
誘導型トレースを配置する 3-14
接続マシントレースを配置する 3-15
自動部品配置 3-17
トレースを自動経路設定する 3-18
その他の機能 3-19

製造 / アセンブリの準備をする 3-20
ボードをクリーンアップする 3-20
コメントを追加する 3-20
ファイルをエクスポートする 3-21
設計を 3D で表示する 3-21

第 4 章
Multisim MCU モジュールチュートリアル

概要 4-1
チュートリアルについて 4-2
アセンブリプログラムを理解する 4-4
上級機能 4-7
デバッグ表示の概要 4-7
ブレークポイントを追加する 4-10
切断してステップ 4-11
切断して外に出る 4-13
切断して中に入る 4-13
切断して飛び越える 4-13
カーソルに実行 4-13

付録 A
技術サポートおよびプロフェッショナルサービス

索引

1

NI Circuit Design Suite の概要

本書で説明する一部の機能は、ご使用の NI Circuit Design Suite のバージョンによって使用できない場合があります。ご使用のバージョンの機能の一覧については、リリースノートを参照してください。

この章では、以下について説明します。

題目	ページ番号
「NI Circuit Design Suite の製品ライン」	1-1
「チュートリアル」	1-2

NI Circuit Design Suite の製品ライン

ナショナルインスツルメンツの Circuit Design Suite は、EDA（Electronics Design Automation）ツールのパッケージソフトで、回路設計フローにおける主なステップを支援します。

Multisim は、回路図の入力、シミュレーション、および PCB レイアウトのようなダウンステージステップへのフィード用に設計された回路図キャプチャおよびシミュレーションプログラムです。*Multisim* には、混合アナログ / デジタルシミュレーション機能も含まれています。

Multisim MCU モジュールは、マイクロコントローラコシミュレーションを追加します。

Multisim からフィードされる Ultiboard は、プリント回路基板の設計、特定の基本的な機械的 CAD 操作の実行、そして製造の準備に使用します。また、Ultiboard は自動部品配置およびレイアウトを提供します。

チュートリアル

本書には、以下の段階的なチュートリアルが含まれています。

- 「Multisim チュートリアル」— Multisim およびその多くの機能を紹介します。
- 「Ultiboard チュートリアル」— Multisim チュートリアルの章で説明する回路のコンポーネント、そしてトレースを配置する方法を説明します。また、部品を自動配置し、自動で経路設定する方法について取得します。
- 「Multisim MCU モジュールチュートリアル」— マイクロコントローラが含まれる回路のシミュレーションおよびデバッグのプロセスを説明します。

これらの章で説明される機能の詳細については、『Multisim User Guide』、『Ultiboard User Guide』、『Multisim MCU Module User Guide』を参照してください。

2

Multisim チュートリアル

この章には、Multisim およびその多くの機能を紹介するチュートリアルが含まれています。

この章で説明する機能の一部は、ご使用の Multisim のバージョンによって使用できない場合もあります。ご使用のバージョンの機能の一覧については、リリースノートを参照してください。

この章では、以下について説明します。

題目	ページ番号
「概要」	2-1
「回路図キャプチャ」 「ファイルを開いて保存する」 「コンポーネントを配置する」 「回路を配線する」	2-2 2-3 2-3 2-7
「シミュレーション」 「仮想計測器」 「解析」 「グラファ」 「後処理」	2-9 2-9 2-11 2-12 2-12
「レポート」 「材料表」	2-13 2-13

概要

このチュートリアルでは、回路図キャプチャ、シミュレーション、解析といった回路設計フローについて説明します。次のページで説明する手順に従った後に、小規模のアナログ信号をサンプリングする回路を設計してテストし、サンプル信号を増幅して簡単なデジタルカウンタで信号発生回数をカウントします。

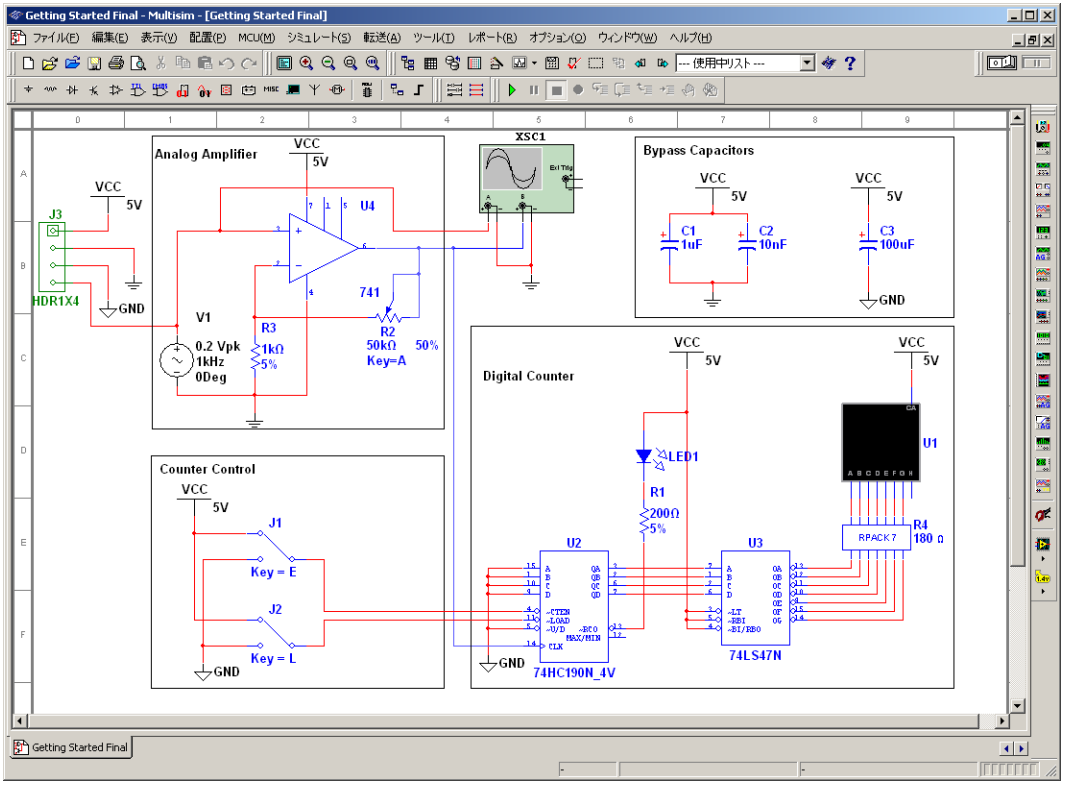
役に立つヒントが、以下のような左の列のアイコンよって示されます。

ヒント　キーボードで「F1」を押す、またはダイアログボックスの**ヘルプ**ボタンをクリックすることで、オンラインヘルプにいつでもアクセスすることができます。

このチュートリアルの配線セクションから、コンポーネント配置セクションで作成した回路を使用することができます。サンプルを使用する場合は、`Getting Started` フォルダ（`samples` フォルダ内）から `Getting Started 1.ms10` を開いて先に進みます。サンプルには、すべてのコンポーネントが正しく配置されています。シミュレーションセクションでは、配線した回路を使用するか、`Getting Started 2.ms10` を開きます（コンポーネントがすべて正しく配線されています）。

回路図キャプチャ

このセクションでは、以下の図のように回路にコンポーネントを配置して、配線します。



ファイルを開いて保存する

Multisim を起動するには、以下の手順に従います。

1. **スタート→すべてのプログラム→ National Instruments → Circuit Design Suite 10.0 → Multisim** を選択します。「回路 1」という空のファイルがワークスペースで開きます。

新しい名前でファイルを保存するには、以下の手順に従います。

1. **ファイル→保存**を選択して Windows 標準の保存ダイアログを表示します。
2. ファイルを保存する場所へ移動し、`MyGettingStarted` というファイル名を入力して**保存**ボタンをクリックします。

ヒント　データを間違って削除することを回避するために、**環境設定**ダイアログボックスの**保存**タブで自動バックアップ作成を設定することができます。

既存のファイルを開くには、以下の手順に従います。

1. **ファイル→開く**ボタンをクリックして、ファイルのある場所へ行き、ファイルをハイライトして**開く**をクリックします。

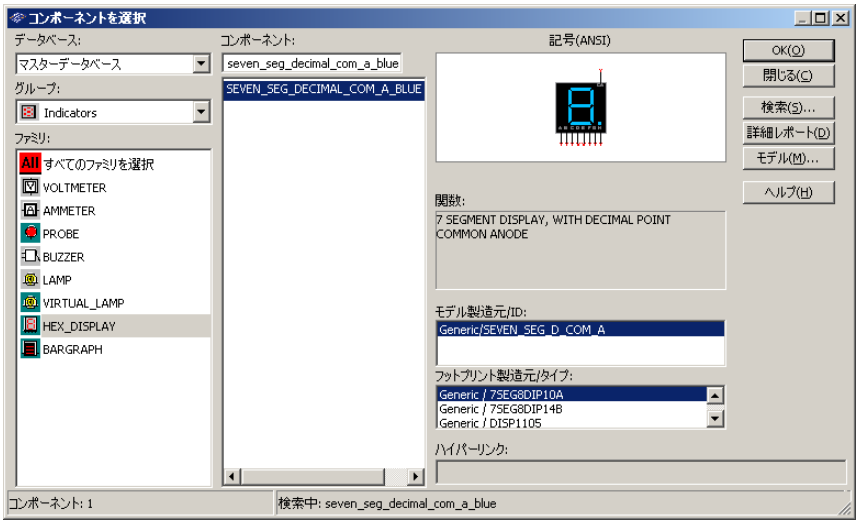
ヒント　Multisim の旧バージョンで保存されたファイルを開くには、**開く**ダイアログボックスの**ファイルタイプ**ドロップダウンリストから該当するバージョンを選択します。

コンポーネントを配置する

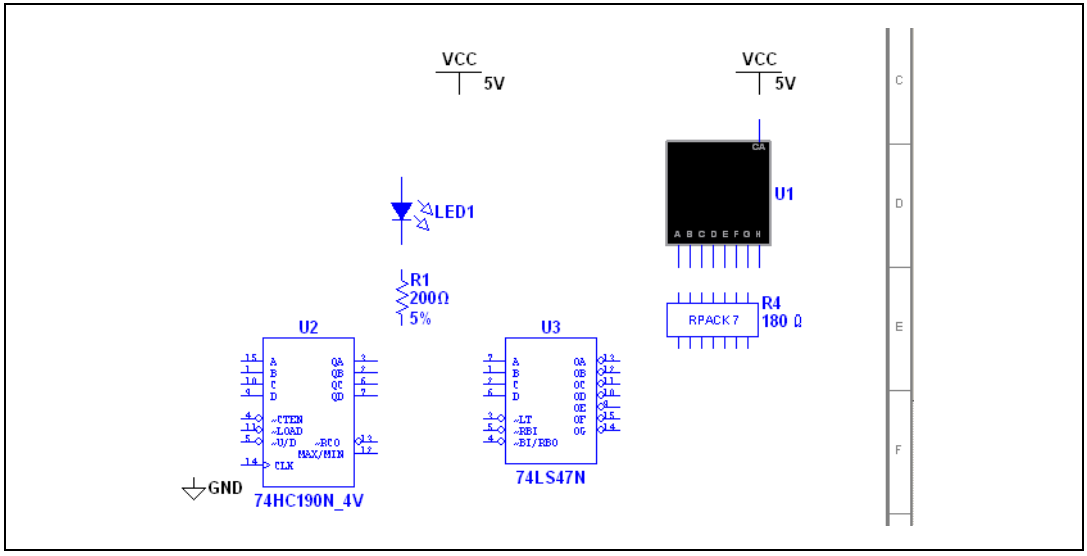
コンポーネントの配置を開始するには、以下の手順に従います。

1. 上記の説明に従って `MyGettingStarted.ms10` を開きます。
2. **配置→コンポーネント**を選択して**コンポーネントを選択**ブラウザを開き、以下の図に示される 7 セグメント LED の表示を選択し、**OK** をクリックします。コンポーネントの「ゴースト」画像がカーソル上に表示されます。

ヒント　適切な**グループ**と**ファミリ**を選択したら、ブラウザの**コンポーネント**フィールドにコンポーネント名を入力します。入力する際、ブラウザの下にある**検索中**フィールドに文字列が表示されます。この例では、「`seven_seg_decimal_com_a_blue`」と入力します。入力内容に応じて、一致するコンポーネント名が表示されます。



3. カーソルをワークスペースの右下へ移動し、左クリックしてコンポーネントを配置します。このコンポーネントの参照番号は「U1」となります。
4. 残りのコンポーネントを上の図のように「Digital Counter」領域に配置します。



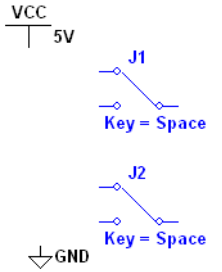
メモ　抵抗器、インダクタ、キャパシタ（RLC コンポーネント）を配置する場合、**コンポーネントを選択**ブラウザには他のコンポーネントとは若干異なるフィールドがあります。これらのコンポーネントを配置する際、コンポーネント値（例：抵抗値）、タイプ（例：炭素膜）、許容差、フットプリント、および製造元の任意の組み合わせを選択することができます。PCB レイアウトに最終的にエクスポートされ、**材料表**の一部になるコンポーネントを配置する場合は、**コンポーネントを選択**ダイアログボックスで選択する値の組み合わせが実際に購入可能なコンポーネントであることに注意する必要があります。

ヒント　RLC コンポーネントを配置する場合、**コンポーネント**リストの上にあるフィールドに配置するデバイス値を入力します。値は、回路図に配置されるリストに表示する必要はありません。

ヒント　200Ω の抵抗器を配置する場合は、キーボードで「Ctrl-R」を押して、縦になるよう回転させます。

ヒント　各コンポーネントの参照番号（例：U1、U2 など）は、配置した順番に割り当てられます。従って、コンポーネントを配置する順番によっては、上の図と参照番号が異なる場合があります。これは、回路の動作には影響しません。

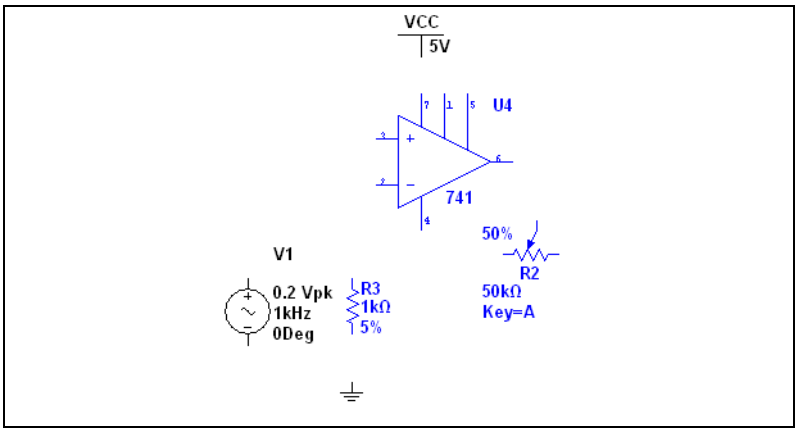
5. 「Counter Control」領域に部品を配置します。配置が完了したら、各 SPDT スイッチを右クリックして**左右反転**を選択します。



SPDT スイッチは、Basic グループの Switch ファミリにあります。

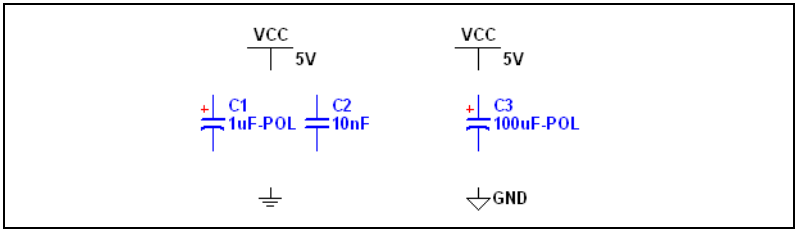
ヒント　すでにワークスペースに配置した部品と同じ部品を再度配置するには、配置済みの部品をハイライト表示して**編集→コピー**を選択し、**編集→貼り付け**を選択します。また、**使用中リスト**から選択して、クリックしてワークスペースに配置することもできます。

6. 下の図のように「Analog Amplifier」領域に部品を配置します。部品は必要に応じて回転させます。

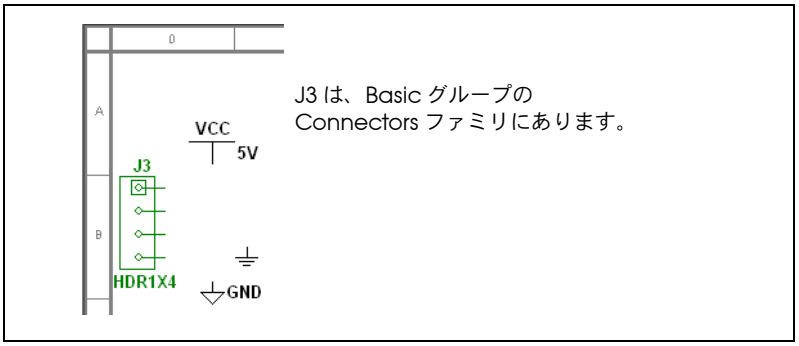


AC 電圧信号ソースを配置したら、その上でダブルクリックします。**電圧（Pk）**を 0.2 V に変更し、**OK** をクリックしてダイアログボックスを閉じます。

7. 下の図のように「Bypass Capacitors」領域に部品を配置します。



8. 下の図に示されるように、ヘッダと関連部品を配置します。



ヒント　回路の配線が完了したら、抵抗器などの 2 ピン受動コンポーネントを直接ワイヤにドロップすることができます。接続は Multisim によって自動的に接続されます。

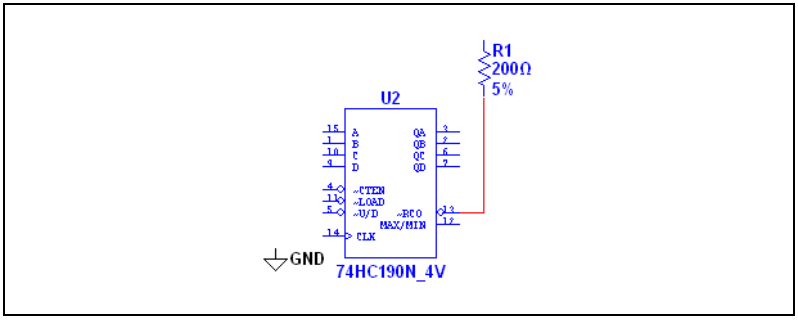
回路を配線する

すべてのコンポーネントには、他のコンポーネントまたは計測器に配線するためのピンがあります。カーソルをピンの上に配置するとクロスヘアに変化し、Multisim で配線を開始できるようになります。

ヒント　ワークスペースに配置した回路を配線する、または `Getting Started` フォルダ（`samples` フォルダ内）から `Getting Started 1.ms10` を使用することもできます。

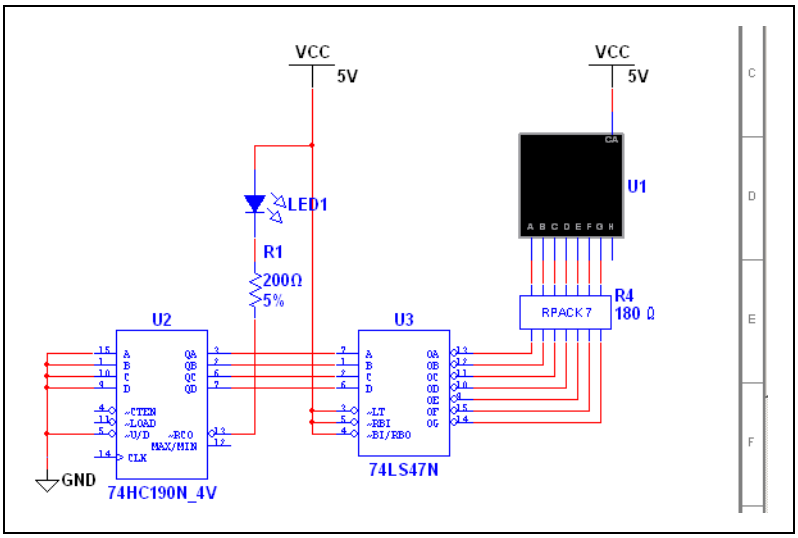
回路を配線するには、以下の手順に従います。

1. コンポーネントのピンをクリックして接続を開始し（ポイントがクロスヘアに変化します）、マウスを移動させます。カーソルの動きに合わせてワイヤが表示されます。
2. 2 番目のコンポーネントのピンをクリックして接続を完了します。Multisim は、以下に示されるように、適切な構成に簡単にするスナップするワイヤを自動的に配置します。この機能により、大規模な回路を配線する場合に大幅に時間を節約することができます。



3. 配線中にマウスをクリックして、ワイヤの位置を指定することもできます。マウスをクリックするたびに、ワイヤがそのポイントに固定されます。

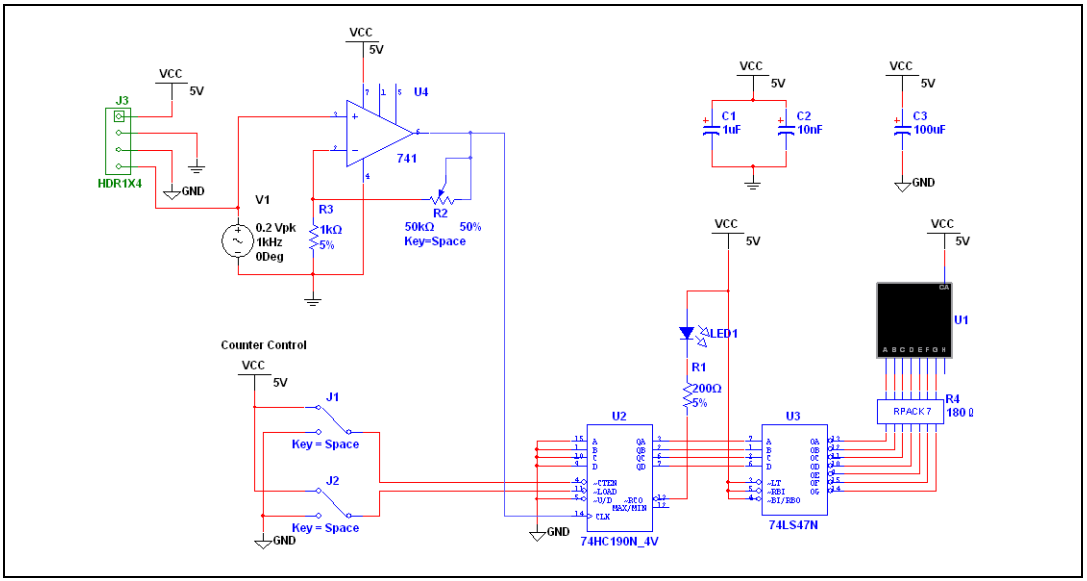
4. 下の図に示されるように「Digital Counter」領域のコンポーネントを配線します。



ヒント　U3 や R4 などのマルチピンデバイスを接続するには、*バスベクトル接続*を使用します。詳細については、『Multisim User Guide』を参照してください。

ヒント　*仮想配線* - 「Counter Control」領域と「Digital Counter」領域の間の接続では、仮想接続を使用して配線を簡潔にすることができます。同じネット名の 2 つの回路は、仮想接続することができます。

5. 下の図のように配線を完了します。



シミュレーション

回路を Multisim でシミュレートすると、設計フローの早い段階でエラーを検出することができ、時間とコストを削減することができます。

仮想計測器

このセクションでは、仮想オシロスコープを持つ回路をシミュレートします。

ヒント　`Getting Started` フォルダ（`samples` フォルダ内）から `Getting Started 2.ms10` を使用することもできます。

1. J1、J2、R2 は対話式コンポーネントです。

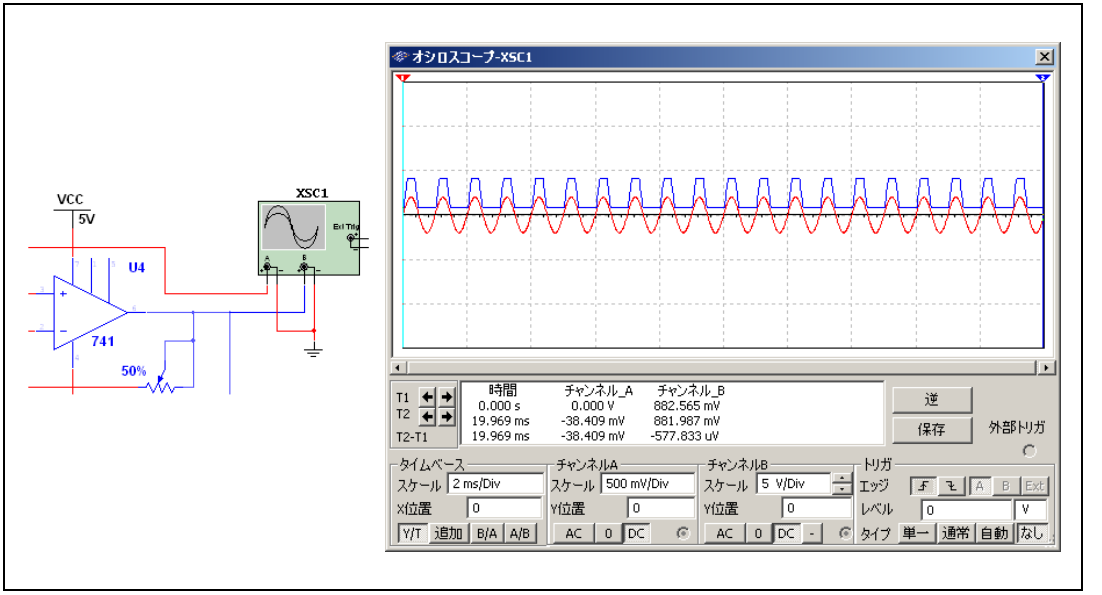
   各コンポーネントをダブルクリックして、J1、J2、および R2 の対話キーを設定します。J1、J2、R2 の**キー**フィールドにそれぞれ「E」、「L」、「A」と入力します。

   「E」を押してカウンタを有効にするか、カーソルを「J1」の上に移動すると表示される拡張スイッチアームをクリックします。

2. **シミュレート→計測器 / オシロスコープ**を選択して、ワークスペースにオシロスコープを配置します。手順 4. で示されるように計測器を配線します。

ヒント　オシロスコープのトレースを簡単に区別するには、スコープの「B」入力に配線されているワイヤを右クリックし、ポップアップメニューから**セグメントカラー**を選択します。たとえば青など、「A」入力に接続されているワイヤと異なる色を選択します。（シミュレーションは、ワイヤの色を変更、または他の編集機能を実行する場合に実行することはできません）。

3. スコープのアイコンをダブルクリックして計測器の前面を表示します。**シミュレート→実行**を選択します。演算増幅器の出力がスコープに表示されます。
4. タイムベースを 2mS/ 区分に変更して、チャンネル A のスケールを 500mV/ 区分に設定します。以下がスコープに表示されます。



回路のシミュレーション実行中に、7 セグメントのカウンタの数値が増加し、各カウントサイクルの終りに LED が点滅します。

5. シミュレーション実行中にキーボードで「E」キーを押して、カウンタを有効 / 無効に切り替えます。有効はアクティブ LOW です。

   「L」キーを押してカウンタにゼロをロードします。ロードはアクティブ LOW です。

   「Shift-A」キーを押して、ポテンショメータの設定を変更した結果を確認します。「A」キーを押して繰り返します。

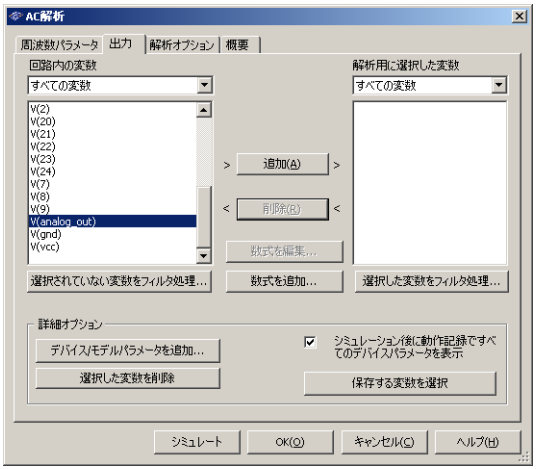
ヒント　上記のキーを押す代わりに、マウスで回路図上の対話式コンポーネントを直接操作することができます。

解析

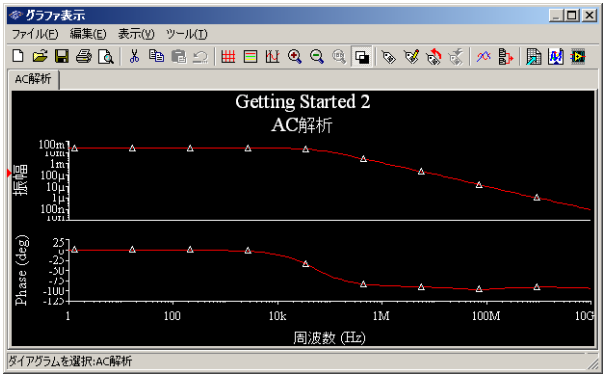
このセクションでは、**AC 解析**を用いて増幅器の周波数応答を検証します。

演算増幅器の出力で **AC 解析**を実行するには、以下の手順に従います。

1. 演算増幅器のピン 6 に接続されているワイヤの上でダブルクリックし、**ネット**ダイアログボックスで回路名を「analog_out」に変更します。
2. **シミュレート→解析→ AC 解析**を選択して、**出力**タブをクリックします。



3. 左の列の `V(analog_out)` をハイライトし、**追加**をクリックします。`V(analog_out)` が右の列に移動します。
4. **シミュレート**をクリックします。解析結果が**グラファ**に表示されます。

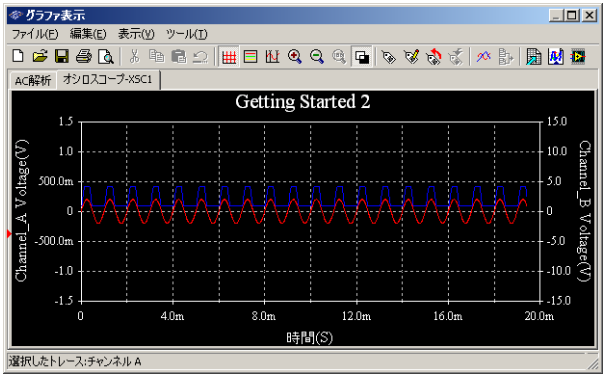


グラファ

グラファは、グラフや表を表示、調整、保存、エクスポートするための多目的表示ツールです。Multisim によるすべての解析結果のグラフや表、またその他の計測器のデータのグラフが表示するために使用します（例 : オシロスコープの結果）。

グラファ上のシミュレーションの結果を表示するには、以下の手順に従います。

1. 上記の説明に従って、シミュレーションを実行します。
2. **表示→グラファ**を選択します。



後処理

後処理では、回路で実行された解析の出力を編集し、結果をグラフまたはチャートにプロットすることができます。解析結果で実行できる数学演算の種類は、算術演算、三角関数、指数関数、対数関数、複素演算、ベクトル演算、および論理演算です。

レポート

Multisim は、材料表（BOM）、コンポーネント詳細レポート、ネットリストレポート、回路図統計、スペアゲート、およびスペアゲートなどの多くのレポートを生成します。このセクションでは、チュートリアルの回路の例として **BOM** を使用します。

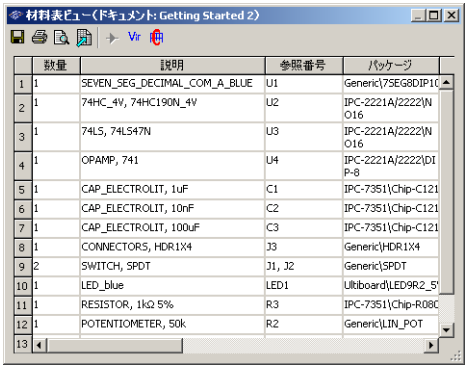
材料表

材料表は、設計で使用されたコンポーネントの一覧を示すことにより、回路基板の製造に必要なコンポーネントの概要を提供します。提供される情報には、以下が含まれます。

- 必要な各コンポーネントの数量
- 詳細 : 部品のタイプ（例 : 抵抗器）および値（例 : 5.1 kΩ) を含む
- 各コンポーネントの参照番号
- 各コンポーネントのパッケージまたはフットプリント

回路の **BOM**（材料表）を作成するには、以下の手順に従います。

1. **レポート**メニューをクリックして、表示されるメニューから**材料表**を選択します。
2. 以下のようなレポートが表示されます。



材料表を印刷するには、**印刷**ボタンをクリックします。標準的な Windows の印刷画面が表示され、プリンタ、コピー数などを選択できます。

材料表をファイルに保存するには、**保存**ボタンをクリックします。標準的な Windows のファイル保存ダイアログボックスが表示され、パスとファイル名を指定することができます。

材料表は主に調達および製造の支援が目的であるため、実際の部品のみが含まれており、ソースまたは仮想コンポーネントなどの実物ではない、購入不可能な部品は除外されます。

回路の実コンポーネントではないコンポーネントの一覧を表示するには、**仮想**ボタンをクリックします。別のウィンドウにこれらのコンポーネントのみを表示します。

この詳細情報および他のレポートについては、『Multisim User Guide』を参照してください。

3

Ultiboard チュートリアル

この章のチュートリアルでは、Multisim チュートリアルの章で説明する回路のコンポーネントおよびトレースを配置する方法を説明します。

ヒント Multisim から Ultiboard に設計をエクスポートする方法については、『Multisim User Guide』、『Ultiboard User Guide』、またはヘルプファイルを参照してください。

この章では、以下について説明します。

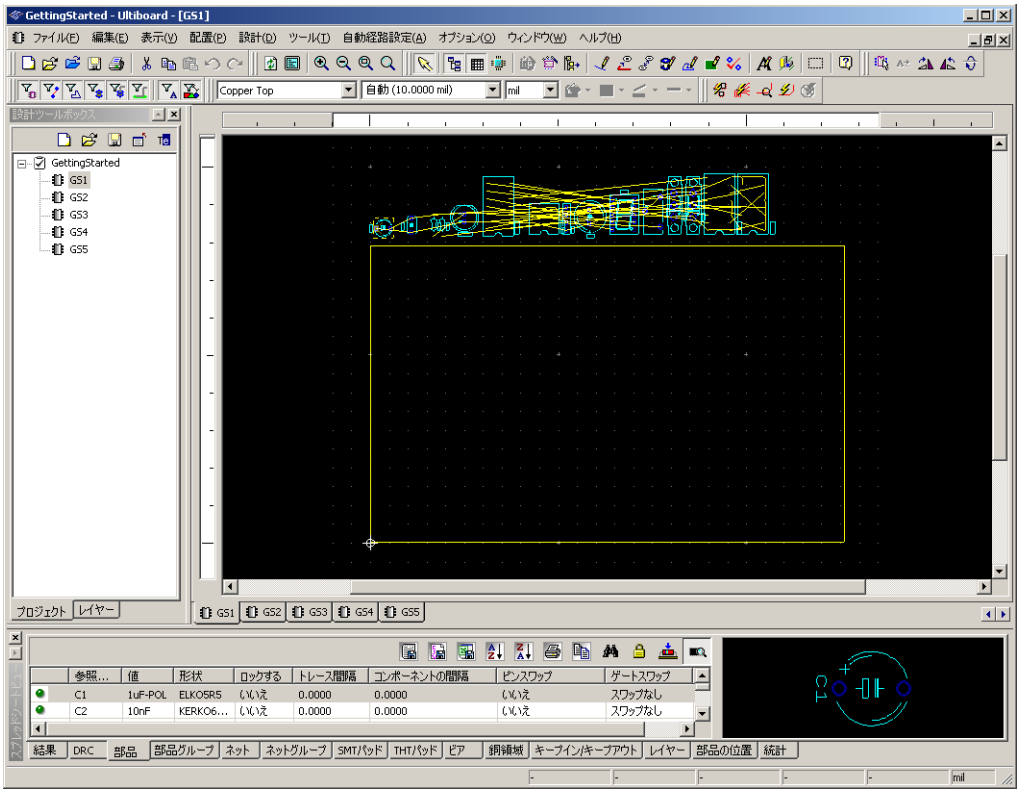
題目	ページ番号
「チュートリアルを開く」	3-2
「ボードアウトラインを作成する」	3-3
「コンポーネントを配置する」	3-6
「ボードアウトラインの外側からコンポーネントをドラッグする」	3-6
「部品タブからコンポーネントをドラッグする」	3-7
「チュートリアルのコンポーネントを配置する」	3-8
「データベースから部品を配置する」	3-9
「コンポーネントを移動する」	3-10
「トレースを配置する」	3-11
「手動トレースを配置する」	3-12
「誘導型トレースを配置する」	3-14
「接続マシントレースを配置する」	3-15
「自動部品配置」	3-17
「トレースを自動経路設定する」	3-18
「その他の機能」	3-19

題目	ページ番号
「製造 / アセンブリの準備をする」 「ボードをクリーンアップする」 「コメントを追加する」 「ファイルをエクスポートする」	3-20 3-20 3-20 3-21
「設計を 3D で表示する」	3-21

チュートリアルを開く

チュートリアルファイルを開くには、以下の手順に従います。

1. **スタート→すべてのプログラム→ National Instruments → Circuit Design Suite 10.0 → Ultiboard** を選択して、Ultiboard を起動します。
2. **ファイル→開く**を選択します。
3. NI Circuit Design Suite のインストールディレクトリ（例 : `...¥samples¥Getting Started`）にある `quickstart` に移動し、`Getting Started.ewprj` を選択して**開く**をクリックします。プロジェクトファイルが Ultiboard にロードされます。



4. 設計（例：GS1）を選択するには、そのタブをクリックするか、**設計ツールボックス**の**プロジェクト**タブ内の名前をクリックします。

ボードアウトラインを作成する

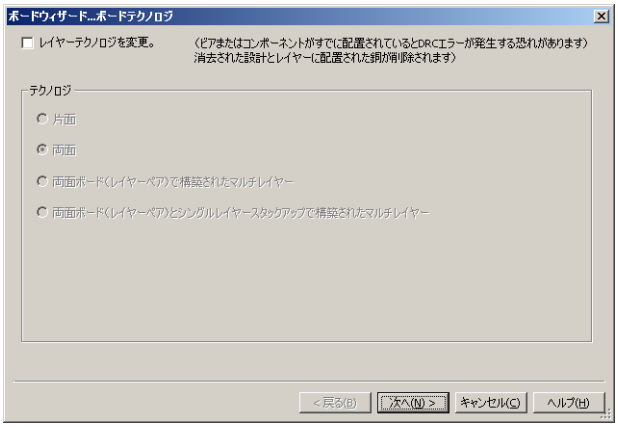
ボードアウトラインは、以下のいずれかの手順で作成できます。

- 描画ツールを使用してボードアウトラインを描画
- DXF ファイルをインポート
- **ボードウィザード**を使用

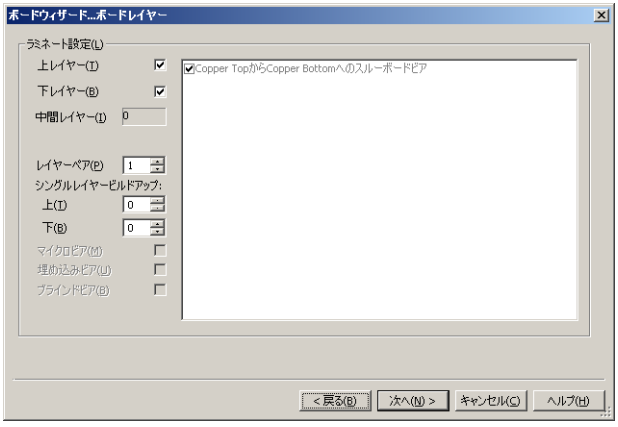
ボードウィザードを使用するには、以下の手順に従ってください。

1. **レイヤー**タブの**ボードアウトライン**をダブルクリックします。
2. Quick1 設計で既存のボードアウトラインをクリックして、削除を押します。

3. **ツール→ボードウィザード**を選択します。



4. **レイヤーテクノロジを変更**オプションを有効にして、他のオプションが利用できるようにします。
5. **両面ボード（レイヤーペア）とシングルレイヤースタックアップで構築されたマルチレイヤー**を選択して、**次へ**をクリックします。
6. 次のダイアログボックスで、ボードの**ラミネート設定**を定義できます。（このチュートリアルでは設定は変更しません）。



7. **次へ**をクリックします。
   ボードの形状ダイアログボックスでは、以下に注意してください。
   - **基準ポイント**が**アライメント**で**左下**に設定されている
   - **長方形**オプションが選択されている

- **幅**を 3000、**高さ**を 2000 に設定されている（この設計で最適なコンポーネントのサイズ）
- **間隔**が 5.00000 に設定されている。他の要素から離されるボードの端からの距離です。

8. **終了**をクリックします。ボードアウトラインは設計に配置されます。

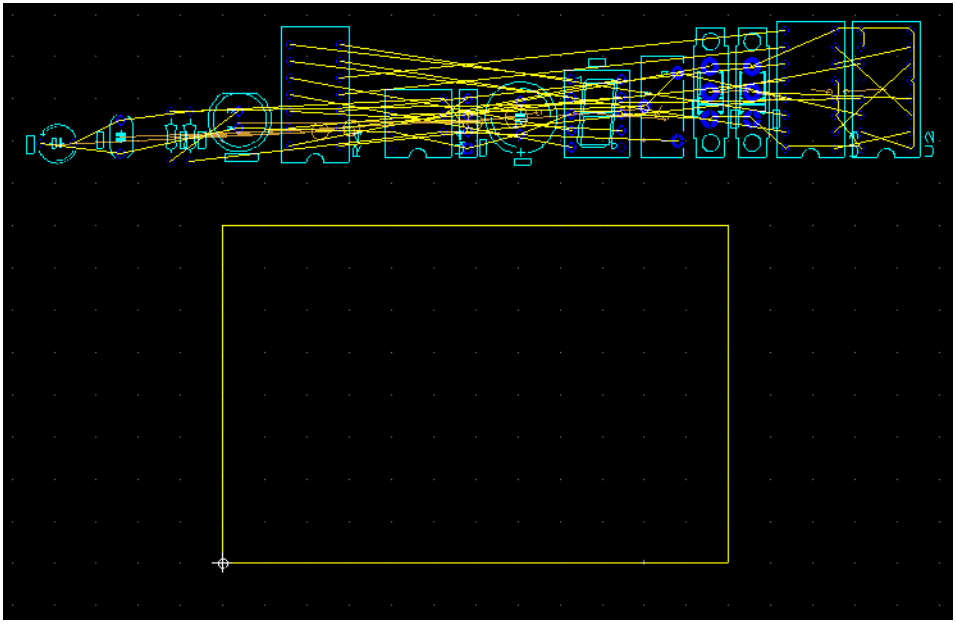
メモ　**ボードウィザード**の詳細については、『Ultiboard User Guide』を参照してください。

ボードアウトラインを移動するには、以下の手順に従います。

1. **レイヤー**タブの**ボードアウトライン**をダブルクリックします。
2. ワークスペースのボードラインをクリックして、ボードをコンポーネントの行のすぐ下にドラッグします。

基準ポイントを変更するには、以下の手順に従います。

1. **設計→基準ポイントを設定**を選択します。カーソルの動きに合わせて基準ポイントが表示されます。
2. カーソルをボードラインの左下へ移動し、クリックして配置します。



コンポーネントを配置する

GS1 設計ファイルにさまざまな方法でコンポーネントを配置することができます。

- ボードアウトラインの外側から 1 つまたは複数のコンポーネントを選択して所定の位置へドラックする
- **スプレッドシート表示**の**部品**タブを使用してコンポーネントを検索して配置する
- データベースから部品を選択する

ヒント　**配置 / コンポーネント配置を取り消し**コマンドを使用して、ロックされていないすべてのコンポーネントを PCB から素早く削除して、異なる配置方法を試すことができます。

ボードアウトラインの外側からコンポーネントをドラッグする

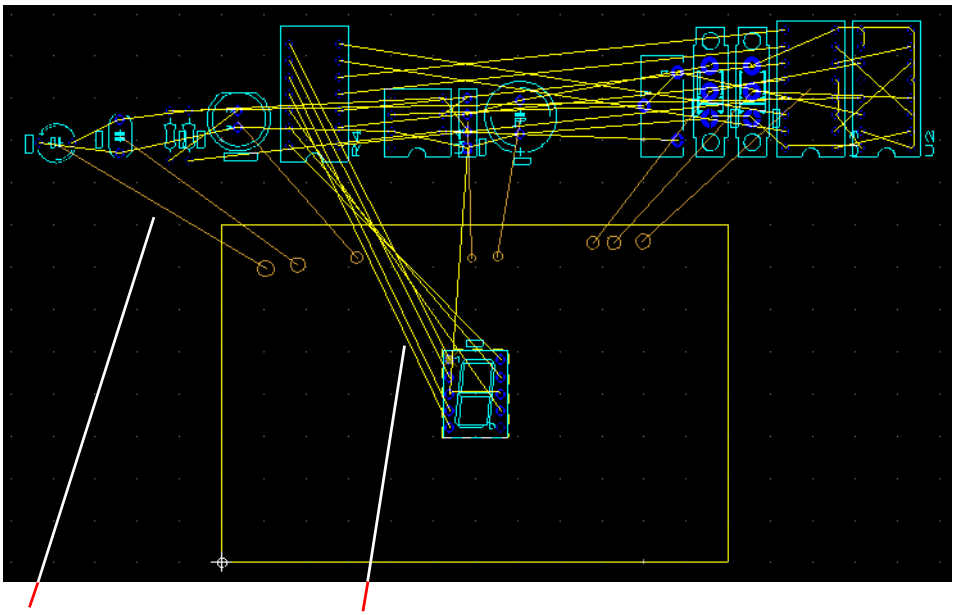
デフォルトでは、Multisim または他の回路図キャプチャプログラムからネットリストを開くと、コンポーネントはボードアウトラインの外側に配置されています。始める前に、**設計ツールボックス**で**銅（上）**レイヤーをダブルクリックして、アクティブレイヤーにします。

ボードアウトラインの外側から U1 をドラッグするには、以下の手順に従います。

1. ボードアウトラインの外側のコンポーネントのコレクションの中から U1 を検索します。U1 が見えるまでズームイン（「F8」を押す）とより簡単に検索できます。

ヒント　また、**編集→検索**コマンドで部品を検索することもできます。このコマンドは他のアプリケーションの検索機能のような役割を果たし、名前、番号、形状、値、またはすべての変数から検索することができます。詳細については、『Ultiboard User Guide』を参照してください。

2. U1（7 セグメント表示）をクリックして、ボードの中心にドラッグします。



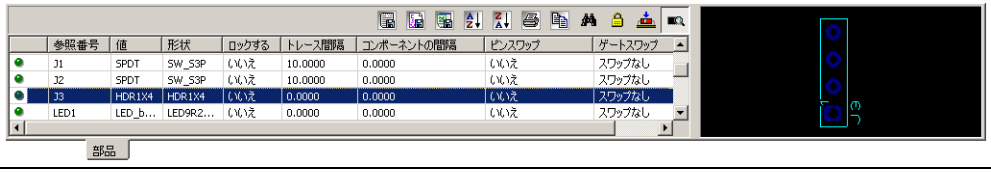
U1 は選択されたままです。これは、アプリケーションにおける Ultiboard の重要な点であり、すべての操作を明示的に終了する必要があります。この場合、他の場所をクリックしてコンポーネントを選択解除します。また、右クリックすると現在の操作が終了します。

3. **スプレッドシート表示**の**部品**タブへ移動し、U1 が表示されるまでスクロールします。コンポーネントの隣の緑のライトがやや明るくなっていることに注意してください。これは、コンポーネントが配置されたことを示しています。

部品タブからコンポーネントをドラッグする

部品タブからコンポーネントをドラッグするには、以下の手順に従います。

1. **部品**タブで J3 が表示されるまでスクロールします。



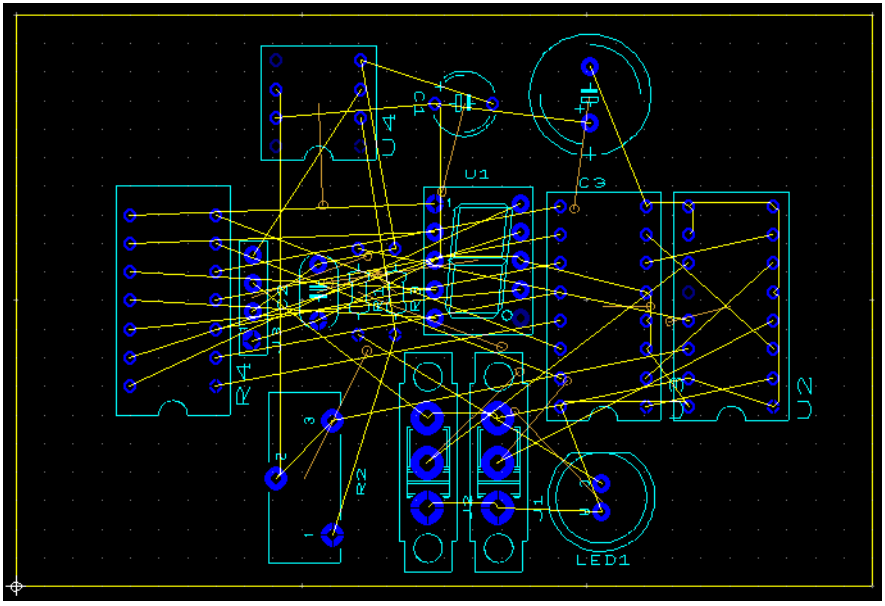
2. J3 をクリックして、**部品**タブからワークスペースにドラッグします。ポインタの動きに合わせて J3 が表示されます。
3. J3 をボードの左側、やや中央にドロップします。上記のように、**部品**タブの J3 の緑色のライトはやや明るくなり、コンポーネントが配置されたことを示しています。

より早く部品を配置するには、**部品**タブで身配置の部品（緑のライトは淡色表示）を選択して、**未配置部品の配置を開始**ボタンをクリックします。Ultiboard は、各コンポーネントを選択してマウスのポインタに貼り付けて配置できるようにしてから、リストから次のコンポーネントを選択する方法で、**部品**タブのコンポーネントのリストを体系的に確認します。

チュートリアルのコンポーネントを配置する

任意の方法、また任意の方法の組み合わせで、以下の図のようなレイアウトを作成してください。すでにこのように設計されている、プロジェクトにある次の設計ファイル、`GS2` を使用することもできます。

設計は以下のようになります。



データベースから部品を配置する

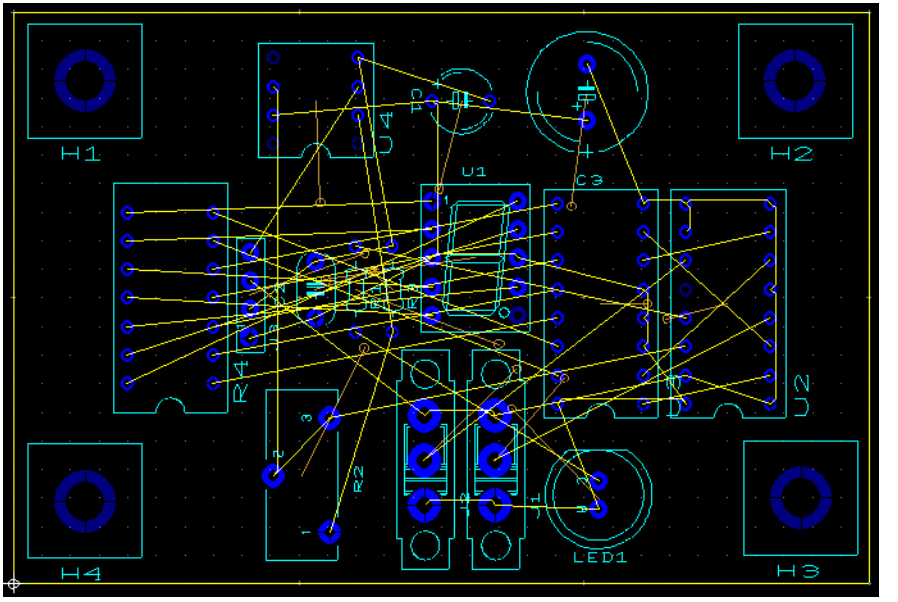
設計ファイルにインポートされた部品を配置する以外に、データベースから直接部品を配置することができます。以下では、この方法を使用して取り付け穴を配置します。

データベースから部品を配置するには、以下の方法に従います。

1. **配置→データベースから**を選択します。**データベースから部品を取得**ダイアログボックスが表示されます。
2. **データベース**パネルで、**スルーホールテクノロジ**カテゴリを展開し、**穴**カテゴリを参照します。**利用可能な部品**パネルに部品が表示されます。
3. **利用可能な部品**パネルで、HOLE35 を選択します。**プレビュー**パネルに部品が表示されます。

4. **OK** をクリックします。**データベースから部品を取得**ダイアログボックスが消え、**RefDes** および **Value** を入力するダイアログボックスが表示されます。
5. 穴の参照番号（H1）および値（HOLE）を入力して、**OK** をクリックします。
6. ボード上にポインタを移動します。部品はポインタの動きに合わせて表示されます。
7. 左上隅の位置に穴を移動したら、クリックしてボードにドロップします。

8. 参照番号が自動的に H2 に増分された**コンポーネントの参照番号を入力**ダイアログボックスが再び表示されます。**OK** をクリックして、次の取り付け穴を右上隅に配置し、同じ作業を繰り返して H3 を右下隅に配置し、H4 を左下隅に配置します。**キャンセル**をクリックして停止し、**キャンセル**をもう一度クリックして**データベースから部品を取得**ダイアログボックスを閉じます。



コンポーネントを移動する

配置する方法と同じ方法でコンポーネントを移動することができます。クリックするだけで、ボード上にすでにあるコンポーネントを選択できます。選択した部品の移動先の X/Y 座標を指定するには、数値キーパッドの「*」キーを押します。また、**部品**タブで配置したコンポーネント（隣に緑色のライトで示される）を選択し、新しい場所にドラッグします。

ヒント　コンポーネントのラベルは、フットプリントとは別の要素です。ボードでコンポーネントを選択する場合は、ラベルだけでなくコンポーネント全体を選択してください。

ヒント　コンポーネントを選択するには、キーボードの矢印キーを押して、ボード上で移動することもできます。

また、コンポーネントのグループを選択して、同時に移動することもできます。これを行うには、以下のうちの一つを実行してください。

- 「Shift」キーを押したまま、複数のコンポーネントをクリックする
- いくつかのコンポーネントの周りにボックスをドラッグする

選択されたすべてのコンポーネントは、カーソルをドラッグすると移動します。

ヒント　これらは一時的なグループで、他のコンポーネントを選択するとグループ接続は解除されます。グループが削除するまで残るようにするには、**グループエディタ**を使用します。詳細については、『Ultiboard User Guide』を参照してください。

コンポーネントを移動するもう 1 つの方法は、**編集→整列**コマンドを使用して、選択したコンポーネントの端を揃えるか、コンポーネント間のスペースを相対的にします。

編集→整列コマンドを使用して、配置した取り付け穴を揃えます。

1. H1 を選択して、「Shift」キーを押したまま H2 を選択します。
2. **編集→整列→上端揃え**を選択します。H2 が H1 に沿って配置されていなかった場合は、移動します。
3. ボード上の空白をクリックして、H2 と H3 を選択します。
4. **編集→整列→右端揃え**を選択します。
5. H3 と H4、H1 と H4 の下端、H1 と H4 の左端が揃うまでこの作業を続けます。

トレースを配置する

トレースの配置には以下のオプションがあります。

- 手動トレース
- 誘導型トレース
- 接続マシントレース

手動トレースは、設定したパス通りに、コンポーネントを介する場合も指定した通りに配置されます。誘導型トレースは、マウス操作で選択したピン間に有効なトレースを自動的に描画します。ピンからピンに移動して、有効なトレースを残すこともできます。接続マシントレースは、最も効率の良い経路で 2 つのピンを自動的に接合します。オプションで経路を変更することもできます。

トレースを配置すると、クリックして最適な位置に配置する前に、バックアップすることによってセグメントを削除することができます。手動トレースを配置中にクリック、もしくは誘導型トレースまたは接続マシントレースで方向を変更するたびに、トレースの個別のセグメントが作成されます。トレースで操作をする場合、最適なセグメントを選択するか、希望する場合はトレース全体を選択します。

手動トレースを配置する

今まで作業してきた設計を継続して使用するか、GS3 を使用します。開始する前に**銅（上）**レイヤー上にいることを確認してください。

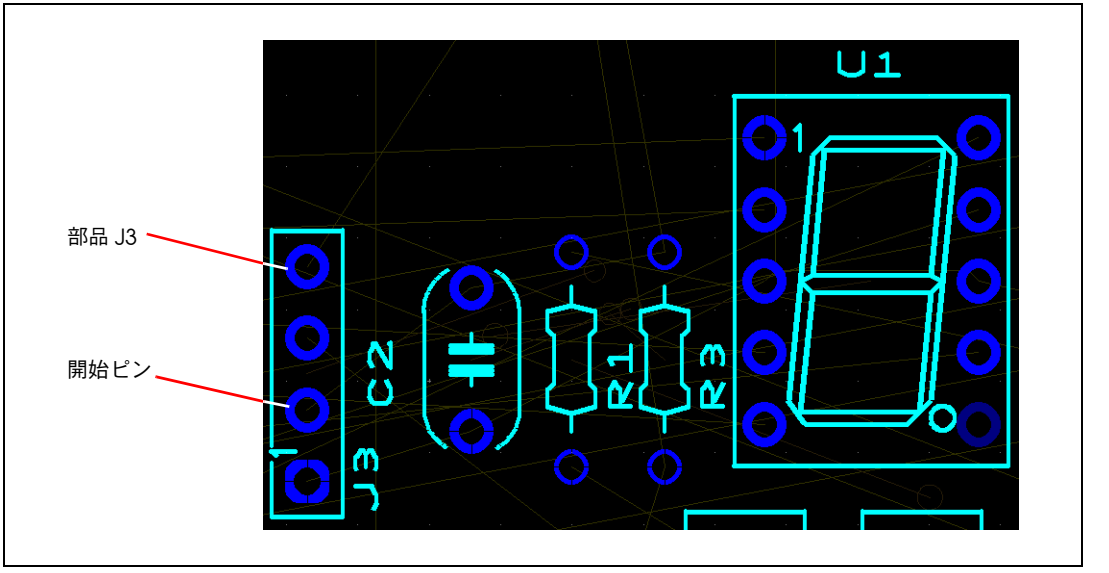
ヒント　必要な場合は、「F7」を押して設計全体を表示します。

トレースを手動で配置するには、以下の手順に従います。

1. **配置→ライン**を選択します。

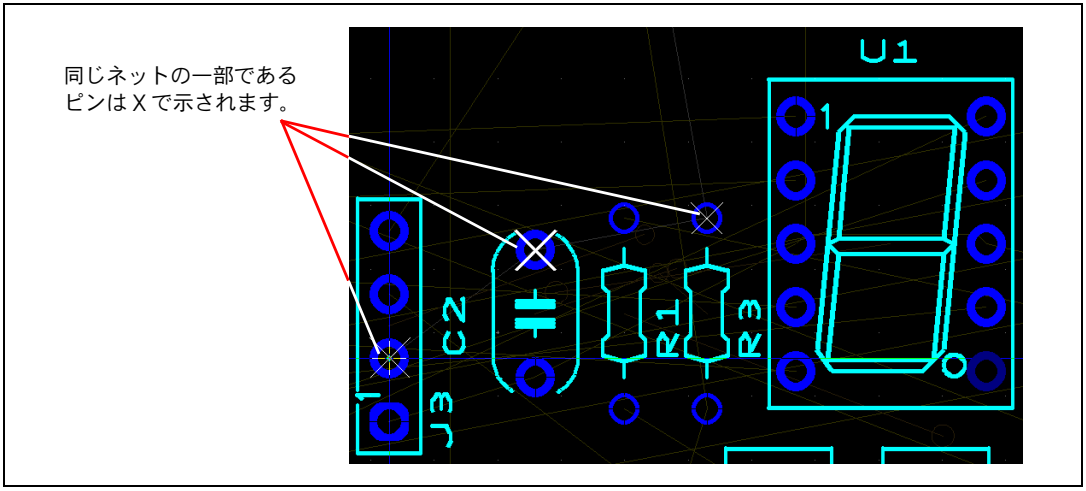
ヒント　**ライン**コマンドは任意のレイヤー上にラインを作成するために使用します。結果は、選択するレイヤーによって異なります。たとえば、選択したレイヤーがシルクスクリーンの場合、PCB のシルクスクリーンレイヤー上にラインを作成します。選択したレイヤーが銅の場合、「ライン」が実際のトレースになります。

2. ボードの左側にある J3 を検索します。下記に示される開始ピンを検索します。



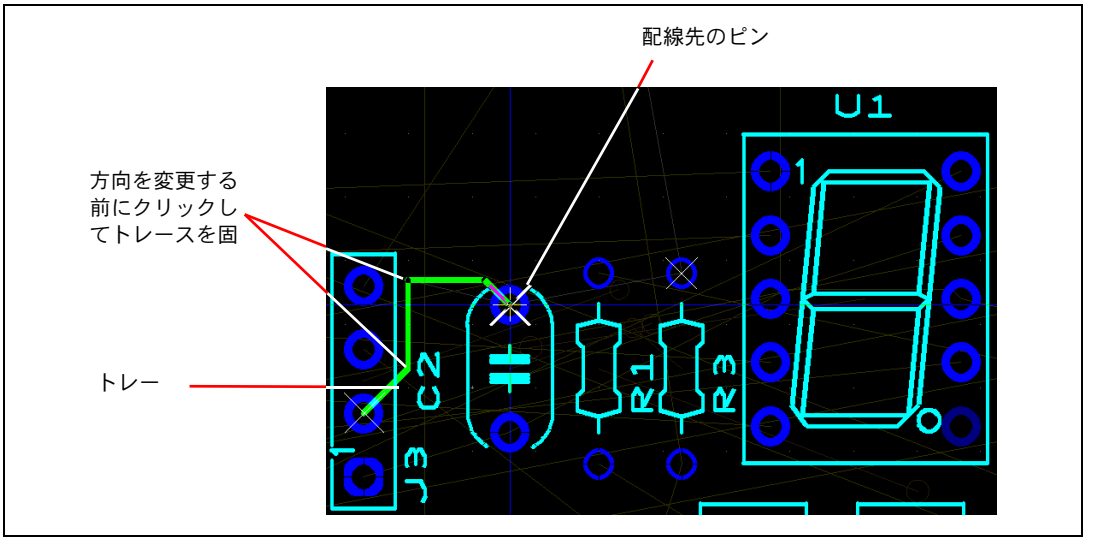
ヒント　コンポーネントを検索できない場合は、**部品**タブの**検索**機能を使用します。**部品**タブでコンポーネントを選択して、**部品を検索して選択**ボタンをクリックします。コンポーネントは、ワークスペースに表示されます。必要な場合は、「F8」を使用してさらにズームインします。

3. 上記のステップで指定されたピンをクリックします。Ultiboard は、クリックしたピンと同じネットの一部であるすべてのピンをハイライトします。（ハイライトに使用される色は、**環境設定**ダイアログボックスの**カラー**タブで変更できます）。この方法で、回路図の接続に一致する方法でピンを接続する場所を理解します。



4. カーソルを動かします。緑のライン（トレース）は選択されたピンに固定されます。クリックするたびに、トレースのセグメントが固定されます。

5. 配線先のピンをクリックします



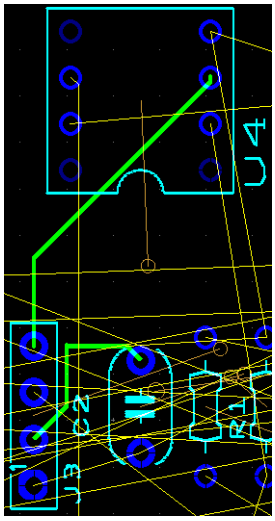
6. 右クリックして、トレースの配置を終了します。

誘導型トレースを配置する

誘導型トレースを配置するには、以下の手順に従います。

1. **配置→誘導型**を選択します。
2. J3 の上ピンをクリックします。
3. U4 の右列にある 2 番目のピンをクリックします。

4. Ultiboard が自動的に接続を描画します。



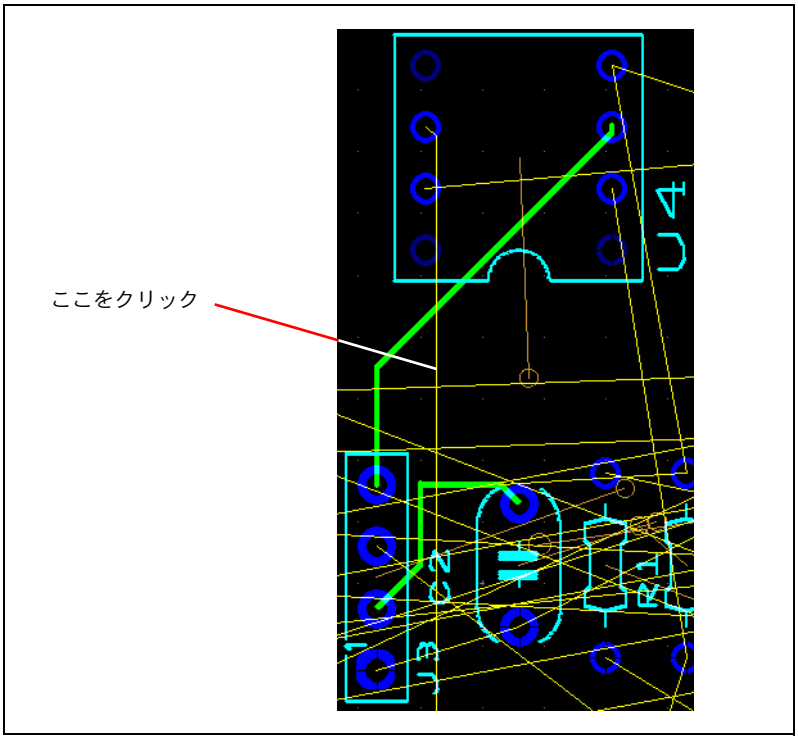
ヒント ピンをクリックする必要はありません。ラッツネストラインをクリックして開始することもできます。

接続マシントレースを配置する

接続マシントレースを配置するには、以下の手順に従います。

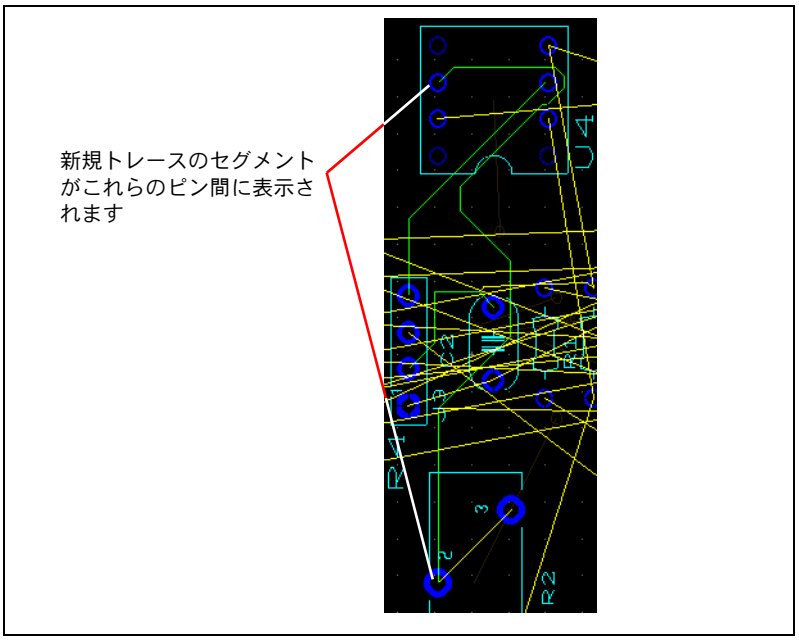
1. **配置→接続マシン**を選択します。

2. 下記に示されるラッツネストのセグメントをクリックします。



3. カーソルを動かします。Ultiboard は、障害物の周りに経路設計されるさまざまなトレースを推奨します。

4. 設定したい経路がある場合、クリックしてトレースを修正します。ラッツネストまたは配線先のピンをクリックする必要はありません。



5. 右クリックしてトレース配置を終了します。

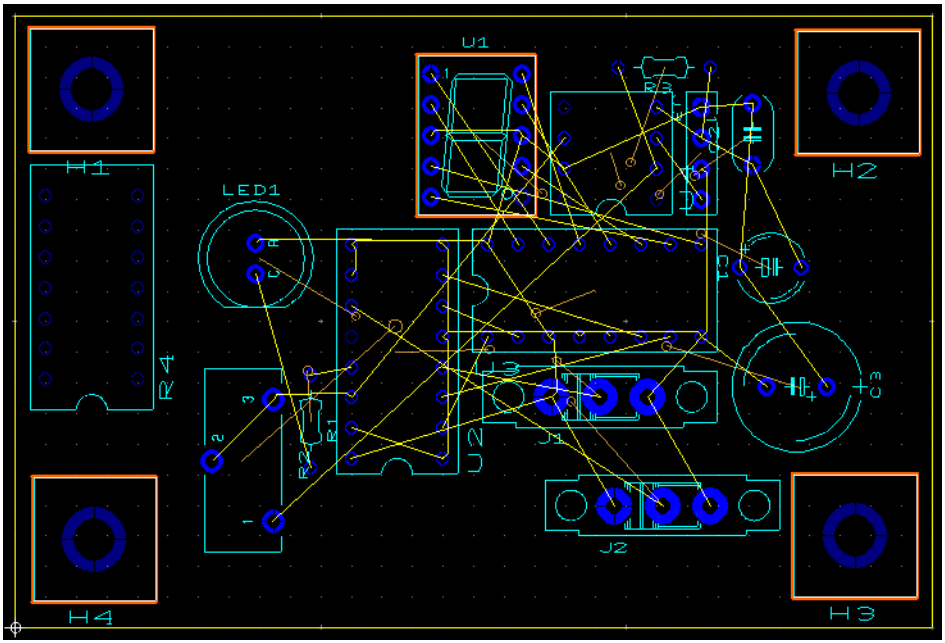
自動部品配置

この章で説明された部品の配置以外に、Ultiboard の上級自動部品配置機能を使用することができます。

ヒント 部品を自動配置する前に、自動配置プロセス中に移動しないコンポーネントすべてをあらかじめ配置してロックします。（GS5 の取り付け穴および U1 はあらかじめ配置されロックされています）。部品をロックする方法の詳細については、『Ultiboard User Guide』を参照してください。

Getting Started.ewprj で部品を自動配置するには、以下の手順に従います。

1. Ultiboard で GS5 設計を開きます。
2. **自動経路設計→自動配置を開始**を選択します。部品が回路基板に配置されます。



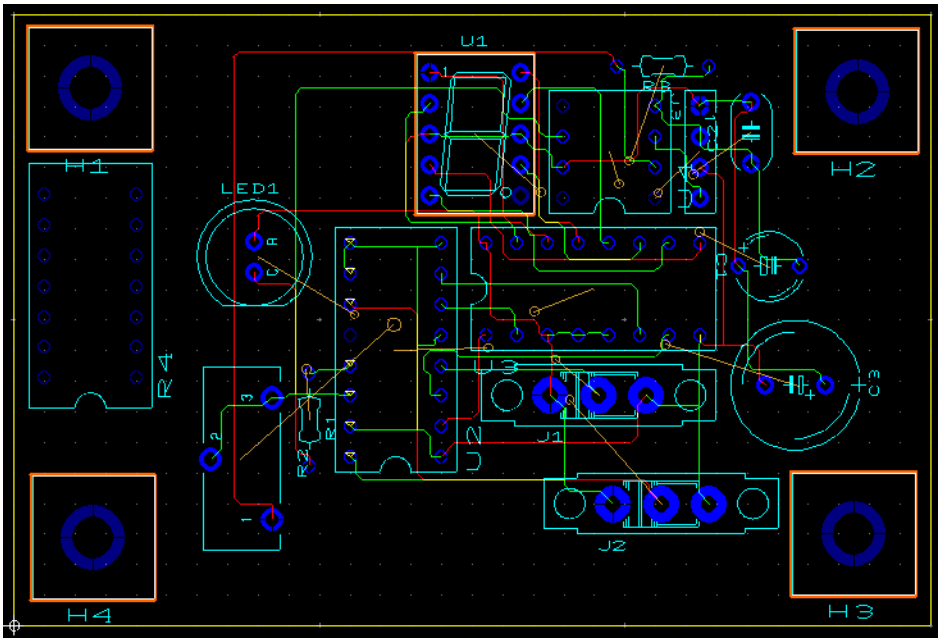
トレースを自動経路設定する

この章ですでに説明した方法、または以下で説明する自動的に経路決定する方法で、Ultiboard にトレースを配置することができます。

`Getting Started.ewprj` でトレースを自動的に経路設定するには、以下の手順に従います。

1. **自動経路設計→開始 / 自動ルータを再開**を選択します。ワークスペースは自動経路設定モードになり、トレースの自動経路設定が開始されます。

   自動経路設定が開始されると、トレースがボードに配置されます。自動経路設定が完了すると、自動経路設定モードが閉じ、ワークスペースに戻ります。
2. オプションで、**自動経路設定→最適化を開始**を選択して、トレースの配置を最適化することができます。



自動ルータは、いつでも終了することができ、手動で変更できます。自動ルータを再開すると、変更を反映して継続します。手動で配置したトレース、および自動ルータによって移動しないトレースをロックしてください。

ヒント　**経路設定オプション**ダイアログボックスを使用して、自動配置および自動経路設定オプションを修正します。詳細については、『Ultiboard User Guide』を参照してください。

その他の機能

Ultiboard は、以下のその他の多くの便利な機能があります。

- **ネットブリッジ** — ネットのプロパティを失わずに異なるネット間の接続を確立する（例 : デジタルおよびアナログ設置）ために使用。
- **PCB 伝送ライン計算** — 通常のプリント回路基板のトレース幾何学の以下のパラメータを計算するために使用。
  - 特性インピーダンス（Zo）
  - 単位ごとの長さキャパシタンス (Co)
  - 単位ごとの長さインダクタンス (Lo)
  - 伝搬遅延 (tpd)

- **PCB 差動インピーダンス計算** — 同等で逆方向の（差動ペア）信号を伝播する 2 つのトレースの計算を実行。差動ペアの以下のパラメータの計算に使用。
  - 特性インピーダンス（Zo）
  - 単位ごとの長さキャパシタンス (Co)
  - 単位ごとの長さインダクタンス (Lo)
  - 伝搬遅延 (tpd)
  - 差動インピーダンス (Zdiff)

製造 / アセンブリの準備をする

Ultiboard は、多くの異なる出力フォーマットが生成可能で、生産および製造のニーズに対応します。このセクションでは、生産およびドキュメント化のために、ボード出力で実行する機能について説明します。

ボードをクリーンアップする

ボードを製造する前に、開いているトーレス終端（設計上、終端接続を持たないトレースセグメント）、ボードに残っている未使用のビアを削除する必要があります。

開いているトレース終端を削除するには、GS4 設計が開いていることを確認して、**編集→銅を削除→開いたトーレス終端**を選択します。この方法では、設計中のすべての開いているトレースが削除されます。

未使用のビアを削除するには、設計が開いていることを確認し、**設計→未使用ビアをクリーン**を選択して、トレースセグメントまたは接続されている銅領域を持たないすべてのビアを削除します。

コメントを追加する

ヒント コメントは、設計の変更順位を表示することができ、チームメンバー間の共同作業を容易にしたり、背景情報を設計に追加することができます。

コメントをワークスペースやコンポーネントに固定することができます。コメントの付いたコンポーネントが移動されると、コメントも一緒に移動します。

詳細については、『Ultiboard User Guide』を参照してください。

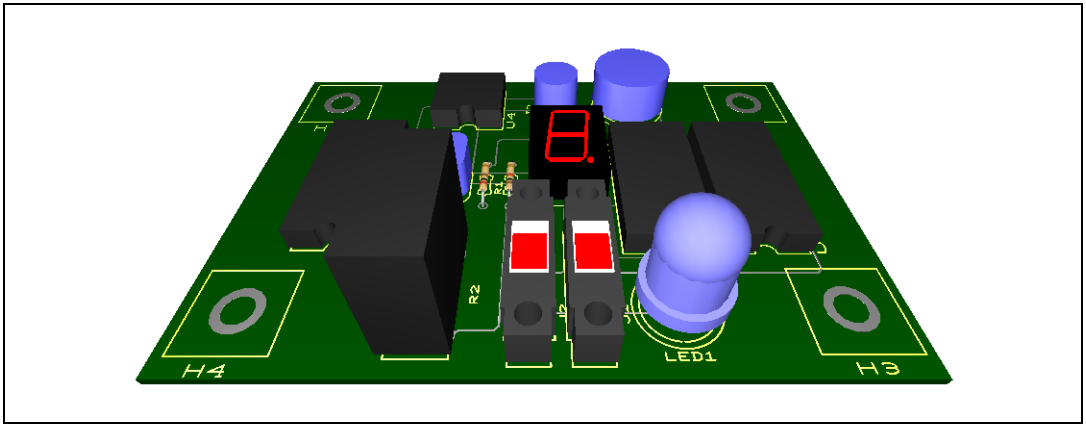
ファイルをエクスポートする

ファイルのエクスポートは、Ultiboard からボードの製造元が理解できるフォーマットで出力を生成することを示します。エクスポートされたファイルには、完成ボードの製造方法の詳細情報が含まれています。エクスポートできるファイルには、Gerber RS-274X および RS-274D ファイルが含まれます。

詳細については、『Ultiboard User Guide』を参照してください。

設計を 3D で表示する

Ultiboard では、設計中にいつでも 3 次元でボードを表示できます。詳細については、『Ultiboard User Guide』を参照してください。



ヒント　**内部ビュー**を使用して、マルチレイヤー PCB のレイヤー間を表示することができます。詳細については、『Ultiboard User Guide』を参照してください。

4

Multisim MCU モジュール チュートリアル

この章のチュートリアルでは、マイクロコントローラが含まれる回路シミュレーションおよびデバッグのプロセスを説明します。

この章では、以下について説明します。

題目	ページ番号
「概要」	4-1
「チュートリアルについて」 「アセンブリプログラムを理解する」	4-2 4-4
「上級機能」 「デバッグ表示の概要」 「ブレークポイントを追加する」 「切断してステップ」 「切断して外に出る」 「切断して中に入る」 「切断して飛び越える」 「カーソルに実行」	4-7 4-7 4-10 4-11 4-13 4-13 4-13 4-13

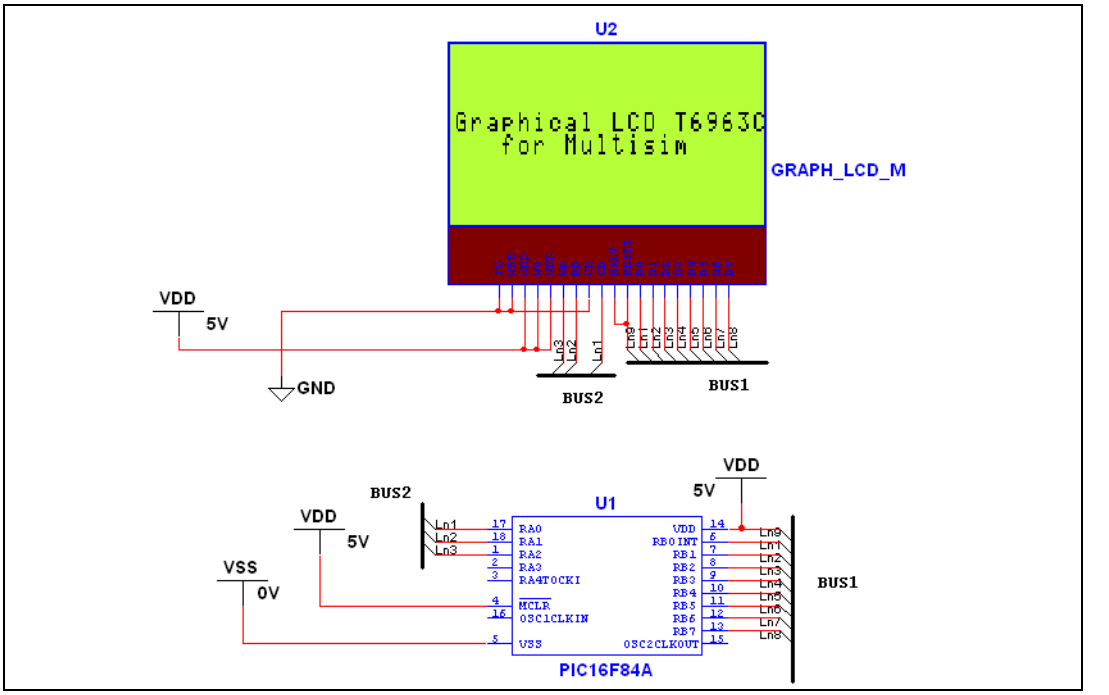
概要

このチュートリアルで使用されるファイルは、NI Circuit Design Suite ソフトウェアと一緒に `...¥samples¥Getting Started` にインストールされます。

このチュートリアルでは、`Getting Started MCU.ms10` を使用し、`LCDWorkspace` のフォルダへのアクセスが必要です。

液晶グラフィックディスプレイ（LDC）回路の例は、Toshiba T6963C コントローラおよび外部表示 RAM の組み合わせに基づく、Multisim におけるグラフィック LCD を制御するための PIC マイクロコントローラの使用について説明します。LCD を制御する際、マイクロコントローラは LCD のデータおよび制御ラインを介して LCD に信号を送信します。マイ

クロコントローラ用に書かれたソフトウェアプログラムが、LCD にコマンドおよびデータを送信するためのピン上のラインの設定が、HIGH または LOW に設定される論理を決定します。



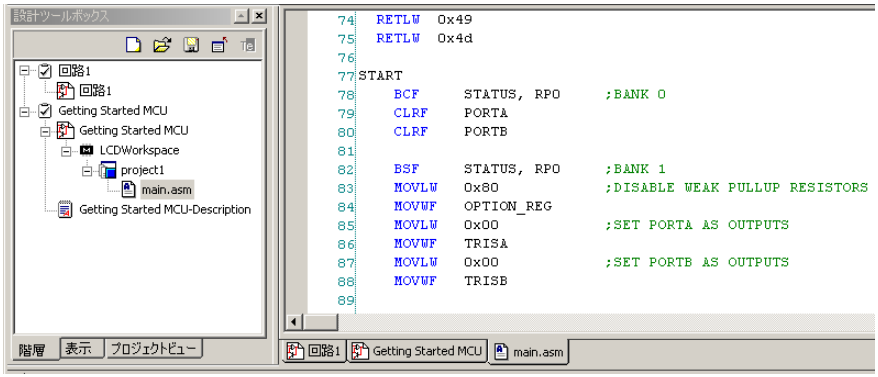
チュートリアルについて

LCD U2 のデータラインは、マイクロコントローラ U1 のピン RB0 ～ RB7 に接続されています。LCD の制御ラインは、マイクロコントローラの RA0 ～ RB2 に接続されます。MCU U1 は、これらのワイヤを通じて LCD U2 と通信します。データが並行して U2 に送信され、制御ラインの信号が送信されるデータのタイミングとタイプを決定します（例 : アドレスまたはデータ）。

LCD は、テキストモード、グラフィックモード、およびテキスト / グラフィックの混合モードの、3 モードで操作することができます。この例は、テキスト / グラフィック混合モードでの LCD の制御です。MCU が実行するソフトウェアは、`LCDWorkspace` という名前で**設計ツールボックス**を表示する MCU ワークスペースに含まれています。ワークスペースには、シングルソースコードファイル `main.asm` から構成される 1 つのプロジェクト `project1` が含まれています。

ファイルを表示するには、以下の手順に従います。

1. **設計ツールボックス**で `main.asm` をダブルクリックします。アセンブリプログラムを表示する回路図キャプチャワークスペースに `main.asm` という名前のタブが表示されます。



ライン番号を表示するには、**MCU →ライン番号を表示**を選択します。

この回路を実行するには、以下の手順に従います。

1. **シミュレート→実行**を選択します。あからじめプログラムをプログラムを作成していない場合は、ダイアログボックスに構成が古くなっていることが示され、作成するかどうかを尋ねてきます。**はい**をクリックします。構築の結果が**スプレッドシート表示**の**結果**タブに表示されます。エラーまたは警告がない場合は、プログラムは正常に作成されます。（サンプルプログラムにはエラーは含まれていません。）

   プログラムはテキストモードで「Graphical LCD T6963C for Multisim」の文字を表示し、LCD がグラフィックモードに切り替わり、反転した「V」がドット単位でテキスト上に描画されます。

   ラインが描画されると、テキストは右、そして左ににスクロールされます。これは、LCD のテキストバッファの開始アドレスを移動することによって実行できます。また、LCD にはバッファが 2 つあり、1 つはグラフィックの格納、もう 1 つはテキストの格納用であることも示しています。テキスト点滅および文字消去などの LCD のその他の機能も示されています。

   LCD プログラムは、これらの各作用を継続して繰り返します。

シミュレーションを停止するには、**シミュレート→停止**を選択します。

アセンブリプログラムを理解する

定数およびデータ

プログラムをより簡単に理解するために、LCD コマンドおよびアドレスを格納する一時バッファを表示し、MCU 内のデータはプログラムの開始時に定数であらかじめ定義されています。

```
DATA_BUFFER           EQU           0x20
DATA_BUFFER2          EQU           0x21
CMD_BUFFER            EQU           0x22
REF_BUFFER            EQU           0x24

ADDR_INDEX            EQU           0x25                ;STARTING ADDRESS IN EEPROM
ADDR_L                EQU           0x26                ;STARTING ADDRESS L
ADDR_H                EQU           0x27                ;STARTING ADDRESS H
COUNTER_INDEX         EQU           0x29                ;COUNTER
BIT_INDEX             EQU           0x2A                ;BIT INDEX

CMD_SET_CURSOR EQU    21H           ;SET CURSOR
CMD_TXHOME            EQU    40H    ;SET TXT HM ADD
CMD_TXAREA            EQU    41H    ;SET TXT AREA
CMD_GRHOME            EQU    42H    ;SET GR HM ADD
CMD_GRAREA            EQU    43H    ;SET GR AREA
CMD_OFFSET            EQU    22H    ;SET OFFSET ADD
CMD_ADPSET            EQU    24H    ;SET ADD PTR
CMD_SETDATA_INC       EQU    0C0H   ;WRITE DATA AND INCREASE ADP
CMD_AWRON             EQU    0B0H   ;SET AUTO WRITE MODE
CMD_AWROFF            EQU    0B2H   ;RESET AUTO WRITE MODE
```

LCD に表示されるテキストは一部のマイクロコントローラのデータ表に格納されますが、プログラムメモリスペースでデータ値を直接処理することを可能にする PIC アセンブリ命令はありません。代わりに、初期値を W レジスタにロードして、指標に基づいた文字列に値を返すルーチンを書き込むことができます。`RETLW` 命令は定数値を W レジスタにロードし、1 回の命令で `RETURN` を実行します。

`TXPRT` ルーチンは、LCD に表示するテキストデータを取得します。LCD の文字モードは、T6963C コントローラのリファレンスマニュアルに定義されています（例 : `0x27` は "G"、`0x52` は "r" のコードなど）。

```
;  DATA
DATA_NUM              EQU     23H
TXPRT                 ; Text data "Grapical LCD T6963C   for Multisim"
  ADDWF  PCL, 1
  RETLW  0x27
  RETLW  0x52
  RETLW  0x41
  RETLW  0x50
  RETLW  0x48
  RETLW  0x49
  RETLW  0x43
  RETLW  0x41
  RETLW  0x4c
  RETLW  0x00
  RETLW  0x2C
  …
```

初期化

初期コードは、以下の引用に示される通り、START ラベルから開始します。マイクロコントローラのピンは出力ピンとして設定され、値はリセットされます。LCD コンポーネントは、マイクロコントローラによって初期化され、グラフィック / テキストモードに設定されます。LCD コンポーネントの内部のグラフィックとテキストバッファのホームアドレスは、LCD がディスプレイ上でバッファデータの表示を開始する場所を指定する 0x0000 および 0x2941 にそれぞれ設定されます。最後に、制御信号が LCD 上の適切な読み取り / 書き込む操作用に設定されます。

```
START
        BCF     STATUS, RP0             ;BANK 0
        CLRF    PORTA
        CLRF    PORTB

        BSF     STATUS, RP0             ;BANK 1
        MOVLW   0x80                    ;DISABLE WEAK PULLUP RESISTORS
        MOVWF   OPTION_REG
        MOVLW   0x00                    ;SET PORTA AS OUTPUTS
        MOVWF   TRISA
        MOVLW   0x00                    ;SET PORTB AS OUTPUTS
        MOVWF   TRISB

        BCF     STATUS, RP0             ;BANK 0
        MOVLW   0x0F                    ; 1111 no commands ready
        MOVWF    PORTA

;1 SET DISPLAY MODE to GRAPH + TEXT mode, cursor off
        MOVLW   0x9C
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD
…
```

テキストおよびグラフィックを描画する

残りのプログラムは、LCD に MCU ピン RA0 ～ RA2 の制御ラインを介してコマンド、そしてデータラインを介してデータを送信します。

```
;5 write string
        MOVLW   0x7D
        MOVWF   DATA_BUFFER
        MOVLW   0x29
        MOVWF   DATA_BUFFER2    ; external CG start at: 1400h
        CALL    DT2
        MOVLW   CMD_ADPSET
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD

        MOVLW   CMD_AWRON
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD

        MOVLW   0x00                    ; Initial the counter
        MOVWF   ADDR_INDEX

LOOP_READ_DATA2
        MOVF    ADDR_INDEX,0    ; STARTING data ADDRESS
        CALL     TXPRT

        MOVWF   DATA_BUFFER             ; LOAD CHAR data TO W
        CALL    ADT

        INCF    ADDR_INDEX,1

        MOVF    ADDR_INDEX, 0
        SUBLW   DATA_NUM                ; 35 chars
        BTFSS   STATUS, Z
        GOTO    LOOP_READ_DATA2

        MOVLW   CMD_AWROFF
        MOVWF   CMD_BUFFER
        CALL    CMD
…
```

たとえば、プログラム内のメインループからの上記の引用は、LCD にテキストモードで表示される TXPRT サブルーチンで定義された文字を送信します。

以下は LCD を自動書き込みモードに設定します。

```
MOVLW                   CMD_AWRON
MOVWF                   CMD_BUFFER
CALL                    CMD
```

この時点でプログラムはカウントを開始し、ループ LOOP_READ_DATA2 を 35 回実行します。このループは、TXPRT を呼び出し、テキストデータを取得して W レジスタをロードします。そして、LCD のデータラインに送信される値ををポート B の W レジスタに値を書き込む SEND_DATA を呼び出すサブルーチン ADT を呼び出します。データが送信されると、マイクロコントローラのポート A 上の適切な値が LCD の制御ピンに送信され、データの読み取り準備ができたことを知らせます。サブルーチンはすべて命令の終了時の呼び出し直後に返され、35 文字がすべて転送される

まで同じ動作が繰り返されます。引用の最後の 3 つの命令が、ループを出た後に LCD の自動書き込みモードを OFF にします。

```
MOVLW                   CMD_AWROFF
MOVWF                   CMD_BUFFER
CALL                    CMD
```

以下の命令は、グラフィックモードで水平および直線ラインを描画します。

```
;6 draw wave once

MOVF                    ADDR_L, 0
BTFSC                   STATUS, Z
CALL                    DRAW_WAVE
```

上級機能

このセクションでは、段階的に Multisim MCU モジュールのデバッグ機能について説明します。以下の説明どおりに作業を行わない場合、これらの説明が該当しなくなります。ブレークポイントとシングルステップ機能を理解したら、上級 MCU デバッグを取得します。

デバッグ表示の概要

C またはアセンブリのいずれかでマイクロコントローラのプログラムを書くには、ソースコードビューで編集可能なソースコードファイル（.asm、.inc、.c、.h）を MCU ワークスペースの一部として作成します。

ソースコードビューにアクセスするには、以下の手順に従います。

1. **設計ツールボックス**の MCU ワークスペース階層に表示されるファイル項目（例：main.asm）をダブルクリックします。

シミュレーション中に表示される追加デバッグ情報は、MCU 内で起こっている状況を理解する上で役立ちます。たとえば、MCU が実行する各命令の実際の操作コードも表示するアセンブリ命令レベル、そしてハイレベルソースで発生するイベントを切り替えることができます。

ソースコードビューは、この追加情報すべてを表示することができません。代わりに、回路設計の MCU コンポーネントはデバッグ情報を表示するための**デバッグ表示**を各自持っています。

デバッグ表示にアクセスするには、以下の手順に従います。

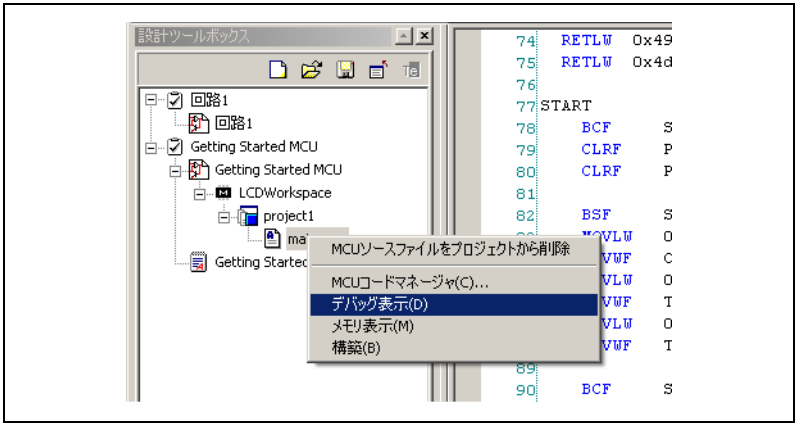
1. **MCU → MCU PIC 16F84A U1 →構築**を選択します。

メモ　**デバッグ表示**はコードの構築が完了すると利用でき、上記の手順は一回のみ実行します。

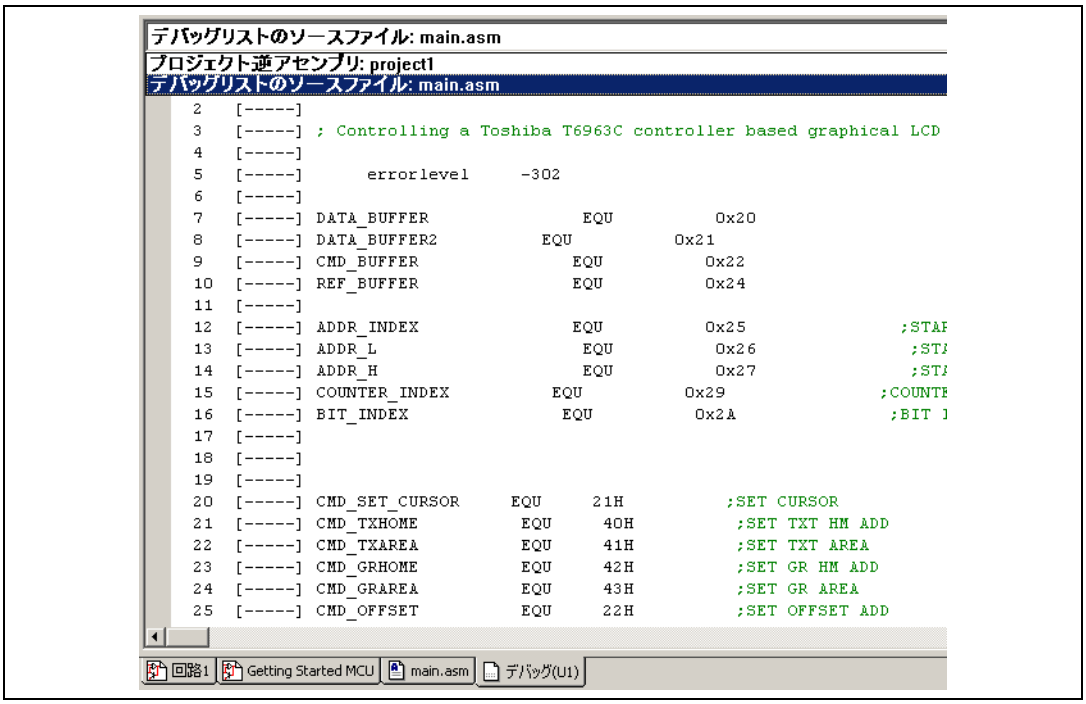
2. **MCU → MCU PIC 16F84A U1 →デバック表示**を選択します。

   または

   設計ツールボックスの MCU ワークスペースにある項目上の右クリックコンテクストメニューを使用します。



デバッグ (<MCU の参照番号>)、この場合**デバッグ (U1)** という回路図キャプチャワークスペースで別のタブが開きます。



デバッグ表示の上部にあるドロップダウンリストを使用して、Multisim が内部生成する逆アセンブリ命令、もしくはアセンブラまたはコンパイラが生成するリスティングファイルを選択します。リスティングファイルのフォーマットはコード構築に使用したツールによって異なります。

LCD の例では、コードはアセンブリに書き込まれ、Microchip アセンブリツールによって構築されます。Microchip アセンブラは、各アセンブリ命令のすべての操作コードを含むリスティングファイル（.lst）を生成します。デバッグリスティングビューは、このリスティングファイルからの情報を表示します。Multisim は、内部逆アセンブラを使用して逆アセンブリフォーマットを生成し、操作コード命令をアセンブリ命令に逆アセンブルします。

デバッグリスティングに必要な情報がすべて含まれているため、このフォーマットはこの例では必要ありません。MCU プロジェクトにマシンコード（.hex）ファイルのみがロードされる場合、逆アセンブリ表示には逆アセンブリ操作コード命令が表示され、MCU で何が起こっているかを見ることができます。このような種類の MCU プロジェクトのリスティングファイルがないため、逆アセンブリ表示が役に立ちます。

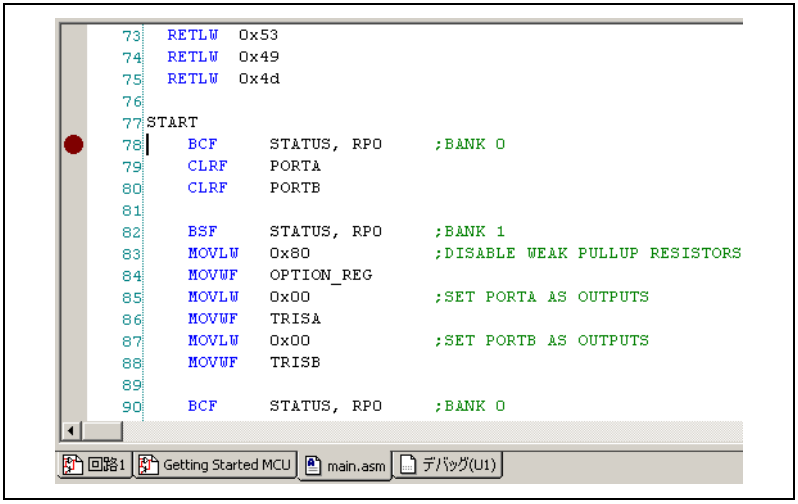
ブレークポイントを追加する

シミュレーションが停止した場合、そしてシミュレーション中に、ソースコードビューにブレークポイントを追加することができます。2 通りの方法でマイクロコントローラにブレークポイントを追加することができます。

1 つ目は、ソースコードビューで追加する方法です。この例では、回路図キャプチャワークスペースの main.asm タブのみが利用可能なソースコードビューです。

メモ　MCU 設計に複数のファイルが含まれている場合は、各ソースコードファイルに対してソースコードビューがあります。

また、**デバッグ表示**ウィンドウでブレークポイントを設定することもできます。逆アセンブリ表示またはデバッグリスティングビューでブレークポイントを設定することができますが、この例ではデバッグリスティングビューのみを使用します。



ソースコードビューでブレークポイントを追加するには、以下の手順に従います。

1. MCU ワークスペースを作成します。
2. U1 の**デバッグ表示**を開きます。
3. **設計ツールボックス**で main.asm をダブルクリックします。
4. START ラベルのすぐ下にあるライン BCF STATUS, RP0 までスクロールします。

5. ライン `BCF STATUS, RP0` の隣の `main.asm` ウィンドウの左側にある 1 番目の（灰色）列をダブルクリックします。その場所でブレークポイントがラインに設定されたことを示す赤い丸が表示されます。

6. **シミュレート→実行**を選択します。シミュレーションは、設定したブレークポイントで自動的に一時停止します。**デバッグ表示**は、MCU プログラムの実行の一時停止を示す黄色の矢印の焦点に自動的に移動します。

ブレークポイントを削除するには、以下の手順に従います。

1. **デバッグ表示**または `main.asm` ソースコードビューでブレークポイントをダブルクリックします。

   または

   MCU →すべてのブレークポイントを削除を選択して、すべてのブレークポイントを削除します。

メモ　**デバッグ表示**で、ソースコードビューと同じ方法でブレークポイントを追加または削除できます。

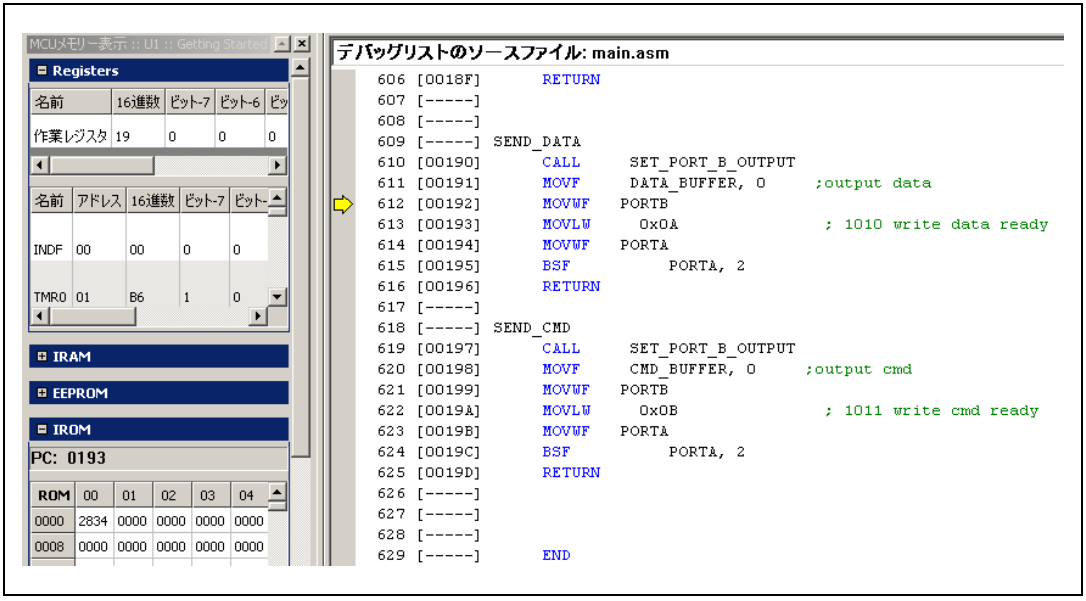
切断してステップ

1. **MCU →すべてのブレークポイントを削除**を選択して、すべてのブレークポイントを削除します。

2. 回路設計表示（**Getting Started MCU** タブ）で**シミュレート→実行**を選択します。“Graphical LCD T6963CC for Multisim“ という文字が LCD コンポーネントに表示され始めます。

3. **シミュレート→一時停止**を選択します。

4. U1 の**デバッグ表示**へ移動し、一番左側の列の黄色の矢印で示される、MCU が実行を停止した場所にあるデバッグリスティングビューのコードラインに注目します。



5. **MCU → MCU PIC16F84A U1 →メモリ表示**を選択して、マイクロコントローラ U1 の内部のメモリの現在の状態を表示します。**IROM** セクションのプログラムカウンタ PC の値が、黄色の矢印が示すラインのアドレス値よりも 1 大きいことに注意します。（上記の図では、**デバッグ表示**のアドレスは 192 で、**メモリ表示**の PC 値は 193 です。）

メモ　シミュレーションを一時停止したときに MCU が現在のコマンドを完了していない場合は、プログラムカウンタ値はアドレス値と同じです。

メモリ表示の他のセクションで、マイクロコントローラのメモリの他の部品内の値を表示することができます。

6. **シミュレーション**ツールバーの**中に入る**ボタンをクリックします。
7. 現在の命令が実行され、シミュレーションは次の命令で一時停止します。
8. **シミュレート→停止**を選択します。

切断して外に出る

1. MOVWF PORTB の SEND_DATA サブルーチンにブレークポイントを配置します。
2. **シミュレート→実行**を選択します。シミュレーションがブレークポイントで一時停止されます。
3. **シミュレーション**ツールバーの**外に出る**ボタンをクリックして、SEND_DATA サブルーチンの外に出ます。
4. シミュレーションは、SEND_DATA サブルーチン内で残りのすべての命令を実行し、SEND_DATA サブルーチンへの呼び出し後の最初の命令で一時停止します。

切断して中に入る

1. **MCU →すべてのブレークポイントを削除**を選択します。
2. 黄色の矢印のすぐ上で外に出た場所、SEND_DATA への呼び出し時にブレークポイントを配置します。
3. **シミュレート→実行**を選択します。シミュレーションは配置したばかりのブレークポイントで一時停止します。
4. **シミュレーション**ツールバーの**中に入る**ボタンをクリックします。シミュレーションが SEND_DATA サブルーチン内で一時停止します。

切断して飛び越える

1. **シミュレート→実行**を選択します。シミュレーションは、サブルーチン SEND_DATA への呼び出し時に、上記で設定したブレークポイントと同じポイントで一時停止します。
2. **シミュレーション**ツールバーの**飛び越える**ボタンをクリックします。SEND_DATA サブルーチン全体が実行され、現在の命令が実行されてから、シミュレーションは CALL SEND_DATA 命令の次の命令で一時停止します。

カーソルに実行

1. **MCU →すべてのブレークポイントを削除**を選択します。
2. このサブルーチンが、再度 LCD にデータを送信するために呼び出されることが確認されているので、SEND_DATA サブルーチンの内側のラインをクリックします。
3. **シミュレーション**ツールバーの**カーソルに実行**ボタンをクリックします。シミュレーションは、SEND_DATA サブルーチン内でクリックした命令に MCU が到達するまで実行されます。そして、一時停止し、ラインの隣に黄色の矢印を配置します。

A

技術サポートおよびプロフェッショナルサービス

技術サポートおよびその他のサービスについては、ナショナルインスツルメンツのウェブサイト (ni.com/jp) の下記のセクションを参照してください。

- **サポート**—オンライン技術サポート (ni.com/support/ja) には以下のリソースがあります。
  - **セルフヘルプリソース**—質問に対する回答やソリューションが必要な場合は、ナショナルインスツルメンツのウェブサイトをご参照ください。ソフトウェアドライバとアップデート、検索可能な技術サポートデータベース、製品マニュアル、トラブルシューティングウィザード、種類豊富なサンプルプログラム、チュートリアル、アプリケーションノート、計測器ドライバなどをご利用いただけます。
  - **技術サポート**—ユーザ登録をされますと、基本的なサービスを無償でご利用いただくことができます。ni.com/jp/dforum からアクセスできる NI ディスカッションフォーラムでは、アプリケーションエンジニアに対するご質問を承ります。お尋ねいただきましたご質問には、ナショナルインスツルメンツのアプリケーションエンジニアが必ず回答いたします。

    ご利用の地域のその他の技術サポートオプションについては、ni.com/jp/services をご覧いただくか、または ni.com/jp/contact から最寄りの営業所までお問い合わせください。
- **トレーニングと認定**—自習形式のコースキットやインストラクタによる実践コースなどのトレーニングおよび認定プログラムについては、ni.com/jp/training 参照してください。
- **システムインテグレーション**—時間の制約がある場合や社内で技術リソースが不足されている場合、または、プロジェクトで簡単には解消しない問題がある場合などは、ナショナルインスツルメンツのアライアンスパートナーによるサービスをご利用いただけます。詳しくは、最寄りの NI 営業所にお電話いただくか、ni.com/jp/alliance をご覧ください。

NI のウェブサイト (ni.com/jp) を検索しても問題が解決しない場合は、最寄りの営業所またはナショナルインスツルメンツ本社までお問い合わせください。世界各地の弊社営業所の連絡先は、このドキュメントの巻頭に掲載されています。ni.com/niglobal（英語）にある Worldwide Offices のセクションから、各支社のウェブサイトへアクセスすることも

できます。このウェブサイトでは、お問い合わせ情報、サポートの電話番号、電子メールアドレス、および現行のイベント等に関する最新情報をご案内しています。

索引

数値
2 ピン受動
　ワイヤに直接ドロップする、2-7

B
BOM、2-13

M
MCU チュートリアル、4-2
MCU チュートリアルの概要、4-1
MCU デバックの概要、4-7
Multisim チュートリアルの概要、2-1
Multisim にコンポーネントを配線する、2-7
Multisim にコンポーネントを配置する、2-3
Multisim ファイルを開く、2-3
Multisim ファイルを保存する、2-3

N
NI のサポートとサービス、A-1

U
Ultiboard dB 部品を配置する、3-9
Ultiboard からファイルをエクスポートする、3-21
Ultiboard チュートリアルを開く、3-2
Ultiboard でコンポーネントを移動する、3-10
Ultiboard にコンポーネントを配置する、3-6、3-8
Ultiboard にトレースを配置する、3-11
Ultiboard の 3D 設計、3-21

あ
アセンブリプログラム、4-4

う
ウェブリソース、A-1

か
カーソルに実行、4-13

き
技術サポート、A-1
技術サポートデータベース、A-1

く
グラファ、2-12

け
計測器ドライバ（NI リソース）、A-1

こ
コメント、3-20
コンポーネントをドラッグする、3-6、3-7

さ
サポート
　技術、A-1
サンプル（NI リソース）、A-1

し
シミュレーション、2-9
上級 MCU デバッグ、4-7
診断ツール（NI リソース）、A-1

せ
切断してステップ、4-11
切断して外に出る、4-13
切断して飛び越える、4-13
切断して中に入る、4-13

そ
ソフトウェア（NI リソース）、A-1

ち
チュートリアルの概要、1-2

と
ドキュメント
　NI リソース、A-1
　本書で使用する表記規則、v
ドライバ（NI リソース）、A-1
トラブルシューティング（NI リソース）、A-1
トレーニングと認定（NI リソース）、A-1

な
ナショナルインスツルメンツのサポートと
サービス、A-1

ふ
ブレークポイント、4-10
プログラミングサンプル（NI リソース）、A-1

へ
ヘルプ
　技術サポート、A-1

ほ
ボードアウトライン、3-3
ボードのクリーンアップ、3-20

れ
レポート、2-13

ん
仮想計測器、2-9
解析、2-11
回路図キャプチャ、2-2
後処理、2-12
材料表、2-13
自動経路設定、3-18
自動配置、3-17
手動トレース、3-12
製造 / アセンブリ、3-20
製品、1-1
接続マシントレース、3-15
本書で使用する表記規則、v
誘導型トレース、3-14